



Gabrielle Fréhaut  
UTC – Génie Biologique  
Printemps 2001



ETUDE DE LA COMPOSITION BIOCHIMIQUE  
DE LA MANGUE (*MANGIFERA INDICA L.* CV EARLY GOLD)  
EN FONCTION DE SON STADE DE MATURITE

Encadrant Cirad  
Jacques JOAS

Encadrant UTC  
Bernard PLUMAS

---

**AUTEUR : Gabrielle FREHAUT**

**TITRE : Etude de la composition biochimique de la mangue (*Mangifera Indica L.*) en fonction de son stade de maturité.**

---

Institution : CIRAD FHLOR – Pôle Agroalimentaire

Lieu : Ile de la Réunion – Station La Bretagne

St-Denis

Stage effectué de mars à août 2001

Encadrant : Jacques JOAS

## Résumé Technique

---

La culture de la mangue (*Mangifera Indica L.*) à la Réunion est en pleine expansion. La maîtrise et la préservation de la qualité des mangues représente un enjeu important pour la poursuite du développement de cette production.

La caractérisation de la matière première est le point de départ du projet de conservation en post récolte de la mangue. Elle a pour objectif de relier la qualité finale des fruits après traitements de conservation à sa qualité de départ, en tenant compte de son stade de récolte.

Dans cette optique le suivi des propriétés morphologiques et biochimiques des fruits sur sept stades de maturité est réalisé, incluant le paramètre agronomique de croissance en conditions contrastées d'alimentation carbonée.

La croissance du fruit est caractérisée par un gain en volume et en poids, ainsi qu'une diminution du taux d'humidité. Au cours des différents stades de maturité étudiés, le fruit se remplit en glucides (amidon, saccharose, fructose) ; l'acidité, apportée majoritairement par l'acide citrique, diminue. La composition minérale du fruit varie peu en ce qui concerne les cations peu mobiles (calcium et sodium), alors que les teneurs potassium et magnésium augmentent.

Les fruits bénéficiant d'une disponibilité en assimilats carbonés supérieure sont plus volumineux. Leur teneur en eau est inférieure ; ils accumulent plus de saccharose et acides citrique et malique. Leurs concentrations en potassium et magnésium sont plus hautes.

---

**Mots clés :** mangue, *Mangifera Indica L.*, maturation, morphologie, qualité, glucides, acides organiques, minéraux, assimilats carbonés.

## Remerciements

Je souhaite remercier toutes les personnes qui m'ont accueilli et encadré au cours de mon stage :

**Mr Jacques Joas et Mr Antoine Collignan** du pôle agroalimentaire CIRAD

**Mr Patrick Legier, Mr Jocelyn Idmond et Mr Jean-Dolin Mouny-Latchimy**, du laboratoire d'analyse des sols du CIRAD,

Ainsi que **Mr Briantais et Mr Pajanaye** de la DGCCRF,

pour leur accueil, l'appui technique qu'ils m'ont apporté et leur sympathie.

J'adresse mes remerciements à **Magalie Janoyer**, et surtout **Mathieu Lechaudel** pour sa collaboration scientifique et technique.

Merci aux collègues du pôle agroalimentaire, **Isabelle Poligné et François Deumier**, pour leur gentillesse et leur disponibilité.

Merci à tous ceux que j'ai côtoyés pendant ces six mois, personnel du CRITT agroalimentaire, du laboratoire d'analyse des sols du CIRAD, de la DGCCRF, stagiaires, VAT et thésards, qui ont rendu mon séjour encore plus agréable.

*Photographie en couverture : M. Janoyer*



# Sommaire

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>PARTIE 1 : PRÉSENTATION DU CIRAD .....</b>	<b>2</b>
I. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU CIRAD. ....	2
II. LE CIRAD À LA RÉUNION .....	3
II.1. <i>Présentation.</i> .....	3
II.2. <i>Le pôle agroalimentaire.</i> .....	5
<b>PARTIE 2 : PRÉSENTATION DU PROJET .....</b>	<b>6</b>
I. CONTEXTE DE L'ÉTUDE .....	6
II. RAPPEL D'ORDRE GÉNÉRAL SUR LA QUALITÉ .....	6
III. OBJECTIFS DU STAGE .....	8
<b>PARTIE 3 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>10</b>
I. ORIGINE ET DÉVELOPPEMENT .....	10
II. DESCRIPTION, UTILISATIONS .....	10
II.1. <i>Taxonomie et description botanique</i> .....	10
II.2. <i>Cultivars</i> .....	11
II.3. <i>Qualités nutritives de la mangue</i> .....	12
II.4. <i>Consommation, transformation</i> .....	13
III. EVOLUTION PHYSIOLOGIQUE ET BIOCHIMIQUE DE LA MANGUE PENDANT SON DÉVELOPPEMENT .....	13
III.1. <i>Cycle de croissance</i> .....	13
III.2. <i>développement morphologique de la mangue</i> .....	14
III.3. <i>Biochimie de la mangue</i> .....	15
<b>PARTIE 4 : MATÉRIEL ET MÉTHODES .....</b>	<b>19</b>
I. ECHANTILLONNAGE .....	19
I.1. <i>Conditions expérimentales</i> .....	19
I.2. <i>Récolte et préparation des échantillons</i> .....	20
II. MESURES MORPHOLOGIQUES ET ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES CLASSIQUES .....	20
II.1. <i>Mesures morphologiques</i> .....	20
II.2. <i>Préparation des échantillons</i> .....	20
II.3. <i>ESS</i> .....	20
II.4. <i>pH</i> .....	21
II.5. <i>Acidité titrable</i> .....	21
II.6. <i>Matière sèche</i> .....	21
II.7. <i>Sucres</i> .....	21
II.8. <i>Amidon</i> .....	24

II. MÉTHODOLOGIES DÉVELOPPÉES PENDANT LE STAGE : DOSAGE D'IONS DANS LE JUS DE MANGUE PAR ÉLECTROPHORÈSE CAPILLAIRE .....	25
III.1. <i>Introduction : choix de la technique</i> .....	25
III.2. <i>Description de l'électrophorèse capillaire</i> .....	25
III.3. <i>Dosage des cations</i> .....	28
III.4. <i>Dosage des acides organiques</i> .....	29

## **PARTIE 5 : RÉSULTATS ET ANALYSES ..... 30**

I. CROISSANCE MORPHOLOGIQUE DES FRUITS .....	30
II. ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE SÈCHE.....	32
III. TENEURS EN GLUCIDES .....	33
III.1. <i>ESS</i> .....	33
III.2. <i>Sucres majeurs</i> .....	35
III.3. <i>Amidon</i> .....	35
III.4. <i>Discussion</i> .....	36
IV. PH, ACIDITÉ TITRABLE, TENEUR EN ACIDES ORGANIQUES.....	37
IV.1. <i>pH</i> .....	37
IV.2. <i>Acidité titrable</i> .....	38
IV.3. <i>Acides organiques</i> .....	38
IV.4. <i>Discussion</i> .....	41
V. TENEURS EN MINÉRAUX .....	42
V.1. <i>Potassium</i> .....	42
V.2. <i>Sodium</i> .....	42
V.3. <i>Calcium</i> .....	43
V.4. <i>Magnésium</i> .....	44
V.5. <i>Discussion</i> .....	44
VI. RELATIONS POSSIBLES ENTRE LA COMPOSITION ET LE COMPORTEMENT POST RÉCOLTE DU FRUIT .....	45
VI.1. <i>Stade de récolte</i> .....	45
VI.2. <i>Effet des traitements agronomiques</i> .....	45
VI.3. <i>Synthèse d'éthylène</i> .....	45

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE L'ÉTUDE ..... 47**

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## **ANNEXES**

## Introduction

La mangue est un fruit cultivé et consommé dans les régions tropicales et subtropicales, qui a aujourd'hui un succès grandissant sur les marchés occidentaux.

La culture de la mangue dans l'île de la Réunion connaît un essor qui entraîne l'apparition de contraintes nouvelles en terme de production et de préservation de la qualité.

Le Cirad travaille à la Réunion sur ce thème, dans le cadre de deux projets :

- recherches sur l'approche agronomique de l'obtention de la qualité menées par l'équipe d'écophysiologie du pôle fruits situé à Saint Pierre.
- projet de valorisation des productions végétales, avec notamment une étude sur la conservation des mangues, au niveau du pôle agroalimentaire situé à Saint Denis.

Le travail effectué pendant ce stage constitue le point de départ de cette étude, qui a pour objectif de relier l'aptitude à la conservation des mangues avec leurs caractéristiques biochimiques. Il intègre des données agronomiques mises en place dans le cadre du travail de thèse de M. Lechaudel sur la croissance et la qualité organoleptique du fruit chez le manguier : analyse expérimentale et modélisation de l'effet de la disponibilité carbonée et hydrique.



# Partie 1 : Présentation du CIRAD

## I. Présentation générale du CIRAD.

Le sigle CIRAD signifie :

Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.

Le CIRAD est un organisme scientifique français spécialisé en recherche agronomique appliquée aux régions chaudes. Il a pour mission de contribuer au développement agricole des pays tropicaux et subtropicaux par des recherches, des réalisations expérimentales, des actions de formation et de l'information scientifique et technique en France et à l'étranger. Ses activités recouvrent les domaines des sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agroalimentaires.

Le CIRAD intervient dans plus de 90 pays d'Afrique, d'Asie, du Pacifique, d'Amérique Latine et d'Europe. Les chercheurs sont répartis dans 50 pays et travaillent au sein de structures nationales de recherche ou en appui à des opérations de développement. Le CIRAD dispose aussi d'un dispositif de recherche important, basé en France :

- à Montpellier, en région parisienne et en Corse,
- en France de l'outre-mer : Guadeloupe, Martinique, Guyane, Réunion, Mayotte, Nouvelle Calédonie, Polynésie française.

L'effectif du CIRAD est d'environ 1800 personnes dont 900 cadres. Son budget annuel est de 1 milliard de francs.

Le CIRAD s'organise autour de 28 programmes répartis dans 7 départements qui sont :

- Cirad-ca : cultures annuelles
- Cirad-cp : cultures pérennes
- **Cirad-flhor : productions fruitières et horticoles**
- Cirad-emvt : élevage et médecine vétérinaire.
- Cirad-forêt : forêts
- Cirad-tera : territoires, environnement et acteurs
- Cirad-amis : amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique.

Et qui couvrent les thèmes suivants :

- **Agroalimentaire**
- Agronomie
- Biotechnologie et ressources génétiques végétales (Biotrop)
- Economie, politique et marchés (Ecopol)
- Modélisation des plantes (Amap)
- Protection des cultures

## II. Le CIRAD à la Réunion

### II. 1. Présentation.

En 1999, il regroupe un effectif de 149 agents, dont 34 chercheurs, auxquels viennent s'ajouter 27 Volontaires Aides Techniques et thésards, ainsi que 60 stagiaires, répartis sur différents sites (Cf. Figures 1 et 2).

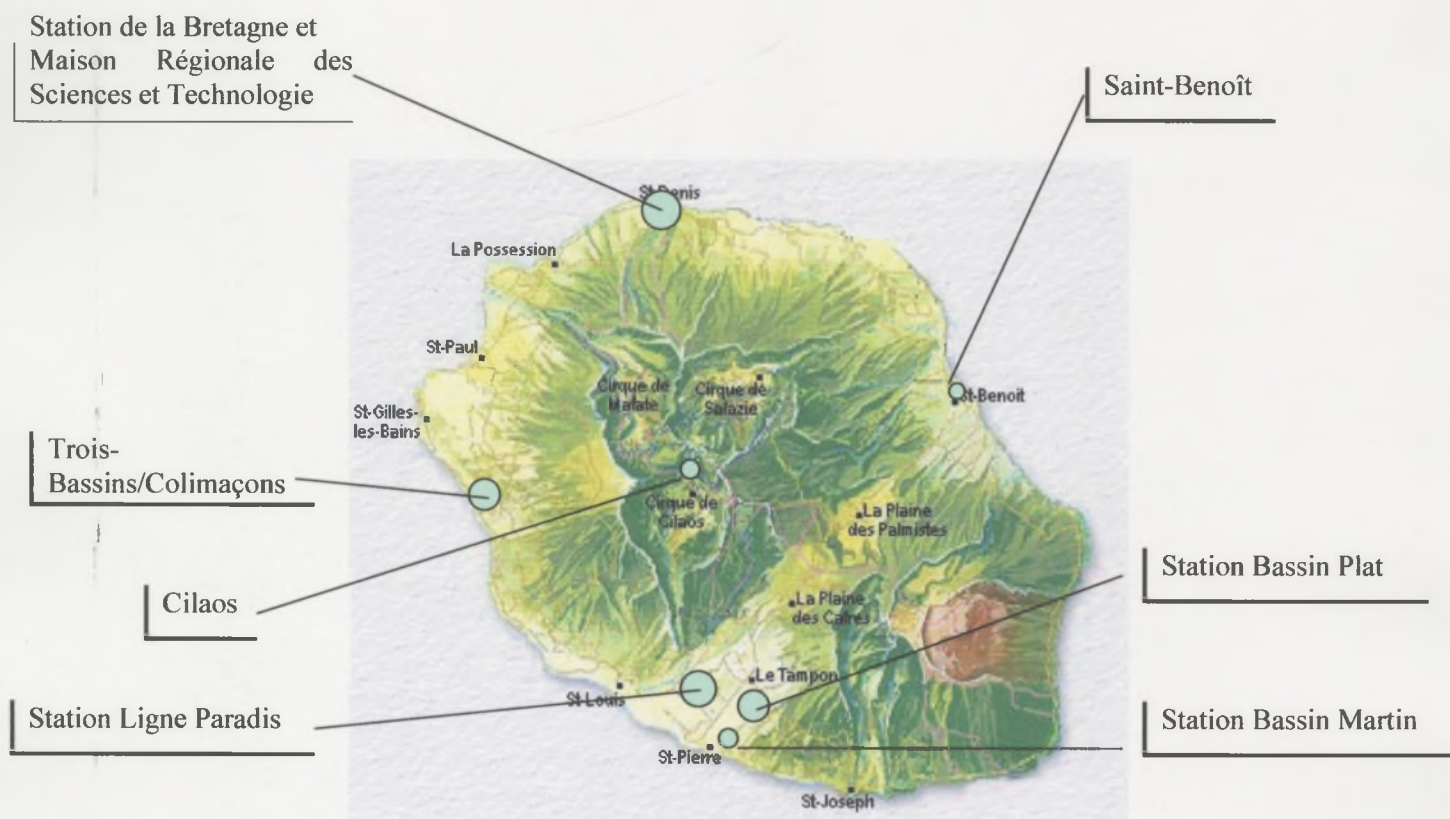


Figure 1 : Les implantations du CIRAD à la Réunion.



	1998	1999
<b>Permanents</b>	143	149
<b>VAT+thésards</b>	21	27
<b>Autres</b>	2	2
<b>Total</b>	166	178
<b>Stagiaires</b>	63	60

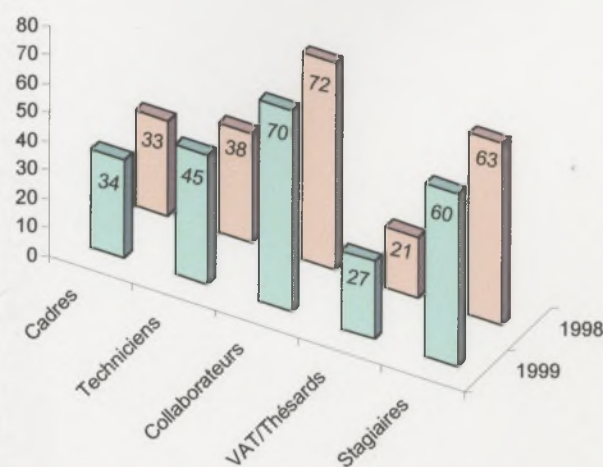


Figure 2 : Les effectifs du CIRAD.

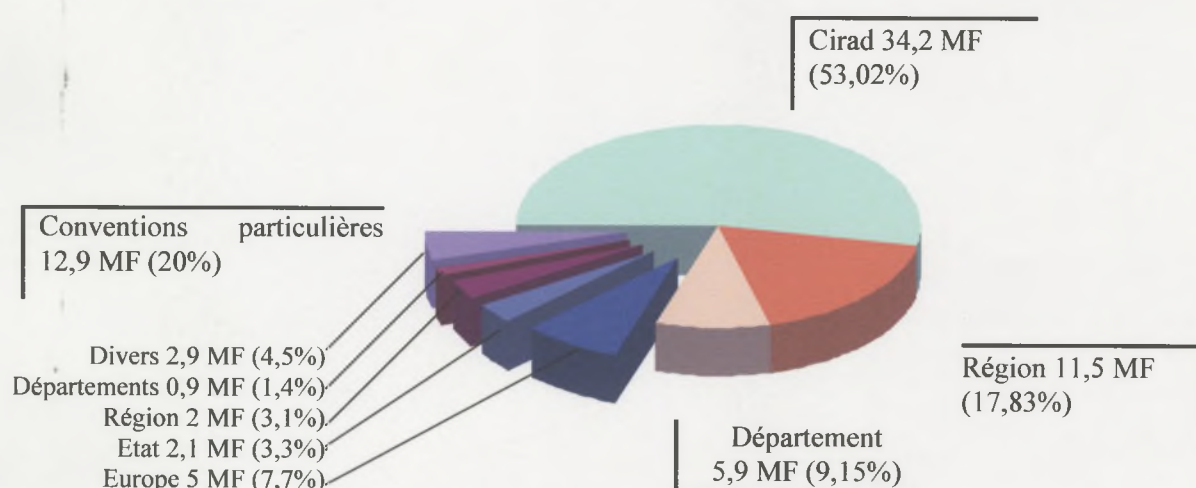


Figure 3 : La répartition des financements.

La figure 3 représente la répartition des financements entre le CIRAD et ses partenaires du Conseil Général et du Conseil Régional. En 1999, le total des ressources du CIRAD-Réunion était de 64,5 MF.

Le CIRAD Réunion est structuré en 6 pôles de compétences :

*Canne à sucre* : amélioration de la production des zones cannières, amélioration des techniques culturales, modèles de fonctionnement biophysique et outils de diagnostic.

*Fruits, légumes et plantes aromatiques* : amélioration de la production de fruits, amélioration des cultures maraîchères, amélioration des plantes aromatiques.

*Agriculture durable, environnement et forêt* : systèmes sous couvertures végétales et diversification végétale, gestion des exploitations, des organisations et des territoires, gestion des déchets organiques, végétation ligneuse et paysages.

*Elevage* : production et gestion des ressources fourragères, valorisation des ressources alimentaires dans les systèmes d'élevage laitier, étude des facteurs de risque de l'infertilité en élevage bovins laitiers.

*Agroalimentaire* : transformation des produits carnés (viande, produits de la pêche et de l'aquaculture), valorisation des productions végétales (coronille, litchi, mangue, palmiste).

## **II. 2. Le pôle agroalimentaire.**

L'industrie agroalimentaire réunionnaise doit, à l'heure actuelle, répondre à une double nécessité : mieux valoriser les matières premières agricoles pour les marchés locaux et prendre en compte la qualité totale pour affronter la concurrence sur les marchés internationaux. Pour cela, l'acquisition et la reconnaissance d'une expertise forte dans ce domaine porteur à la Réunion sont nécessaires et dépendent de la coexistence d'une formation et d'une recherche de qualité, piliers indispensables du développement aux niveaux local et régional. C'est pourquoi la partie agroalimentaire du CIRAD-Réunion s'est implantée à la MRST (Maison Régionale des Sciences et de la Technologie) et a signé en 1994 un accord avec l'Université et la Chambre de Commerce et d'Industrie de la Réunion afin d'engager des collaborations fortes sur ce thème.

Les deux projets du pôle agroalimentaire sont les suivants :

### **- Transformation des produits carnés :**

Etude et amélioration du procédé de fabrication de boucané à la Réunion,  
Validation d'une unité artisanale de salage-séchage-fumage à froid de poissons,  
Développement de collaborations au niveau régional sur la transformation des produits animaux.

### **- Valorisation des productions végétales :**

Caractérisation et aptitude à la conservation.  
Conservation des produits en post-récolte.



## **Partie 2 : Présentation du projet**

### **I. Contexte de l'étude**

La culture de la mangue à la Réunion est aujourd'hui en pleine expansion. Face à l'accroissement de la production, le stockage temporaire et la filière exportation se développent. Cet essor implique l'apparition de contraintes nouvelles, en terme de qualité et de conservation. La maîtrise et la préservation de la qualité des mangues représente un enjeu important pour la poursuite du développement de cette production.

Dans cette optique, le CIRAD a mis en place au sein du département FHLOR un programme de recherches sur le manguier à la Réunion, portant sur l'amélioration de la production et la valorisation du fruit. Il inclut une démarche agroalimentaire et une démarche agronomique. L'objectif de ce programme est d'étudier l'incidence des conditions de production de la mangue sur la qualité des fruits.

Des travaux sont menés par l'équipe du Pôle Fruits, Maraîchages et Plantes Aromatiques situé à Saint Pierre, sur l'architecture de l'arbre, l'état hydrique de la plante, et la qualité des fruits. Le pôle agroalimentaire situé à Saint Denis s'appuie sur les expérimentations actuellement en cours pour étudier l'aptitude à la conservation en post récolte des mangues.

### **II. Rappel d'ordre général sur la qualité**

La notion de qualité d'un fruit varie suivant que l'on s'adresse au producteur, au distributeur ou au consommateur.

- Pour le producteur, la qualité est synonyme de rendement, de précocité et de résistance aux maladies.
- Le distributeur caractérise la qualité du produit selon sa durée de vie, l'homogénéité des lots de fruits, leur maturité, leur état sanitaire et leur bonne tenue en conservation.
- Enfin, pour le consommateur, la qualité est plutôt liée à l'aspect, au bon goût et à la valeur nutritionnelle du fruit.

Obtenir des niveaux satisfaisants pour les différents critères de qualité implique une compréhension globale et une maîtrise de tous les stades, de la production à la conservation des fruits, d'où la nécessité de coupler les démarches agronomique et agroalimentaire.

Pour la mise en marché, la qualité initiale des fruits et le traitement post récolte sont dans la pratique indissociables (Cf. figure 4) :

- Si un fruit de bonne qualité initiale suit un itinéraire post récolte inadapté, sa qualité finale sera insuffisante (maturation trop rapide, qualité organoleptique médiocre...)
- Au contraire si un fruit de qualité moyenne suit un itinéraire adapté, il conservera un niveau de qualité suffisant pour le consommateur.

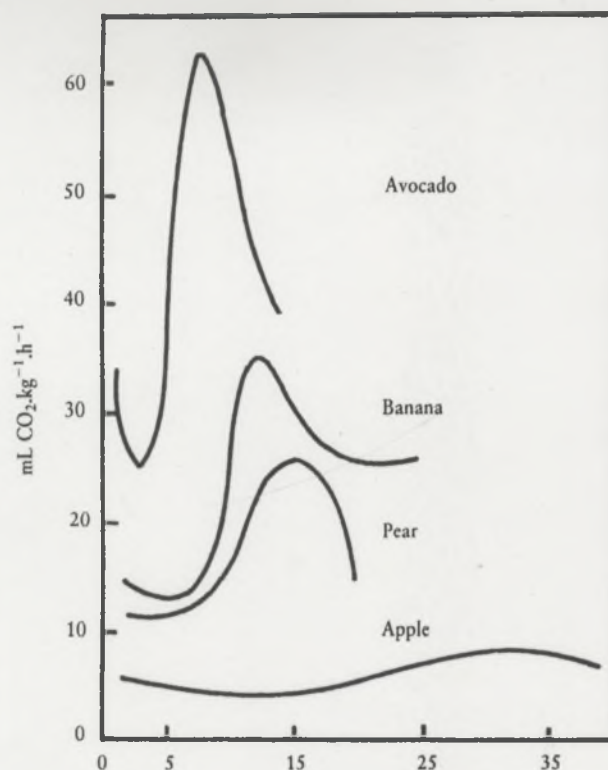


Figure 5 : activité respiratoire de fruits stockés à 15°C durant 40 jours (d'après Biale cité par salunkhe, Bolin et Reddy, 1991)

Dans la pratique, la qualité des mangues à la récolte est très variable : on obtient au sein d'un même arbre des calibres et des stades de maturité hétérogènes. Le processus de croissance du fruit et d'élaboration de sa qualité doit être identifié afin de comprendre les raisons de ces variations et d'homogénéiser au mieux la qualité de la production.

### III. Objectifs du stage

Ce projet se place en aval du travail de thèse mené par Mathieu Lechaudel (2001), portant sur la croissance et la qualité organoleptique du fruit chez le manguier : analyse expérimentale et modélisation de l'effet de la disponibilité carbonée et hydrique. L'étude des caractéristiques de la mangue doit permettre de décrire et de quantifier l'impact de conditions agronomiques sur les caractéristiques morphologiques et biochimiques de la mangue.

La caractérisation biochimique de la mangue en fonction de son stade de maturité permet de décrire l'évolution en concentration de ses principaux composants (sucres, amidon, acides organiques, cations).

Cette caractérisation de la matière première est le point de départ du projet de conservation en post récolte de la mangue. Les résultats de l'étude permettront de relier la qualité finale de la mangue après traitements de conservation à sa qualité de départ, en tenant compte de son stade de récolte.



L'originalité de cette étude est d'une part qu'elle se place en charnière des deux approches agroalimentaire et agronomique de qualité de la mangue, et d'autre part qu'elle fait intervenir la notion de connaissance de la qualité initiale du fruit dans une optique de conservation. Les expériences de conservation se font généralement sur des fruits « en vrac », dont les caractéristiques initiales ne sont pas déterminées. La nouveauté de l'étude est de ne pas considérer la conservation simplement comme opération unitaire, mais comme partie intégrante du processus de production.

## Partie 3 : Etude bibliographique

### La mangue (*Mangifera Indica* L.)

#### I. Origine et développement

L'origine et le centre de diversification de la mangue sont situés en Asie du Sud-est (Mukherjee, 1997 ; Bompard et Schnell, 1997, cités par Litz 1997). Cultivés par l'homme depuis plus de 4000 ans, les manguiers n'ont cependant été exportés hors de l'Inde qu'à partir du VII<sup>ème</sup> siècle. Les Portugais les ont alors implantés dans leurs colonies africaines puis au Brésil. Les mangues ont été ensuite cultivées à partir du XIX<sup>ème</sup> siècle au Mexique, puis vers 1861 aux Etats Unis. La mangue est aujourd'hui produite dans les régions tropicales et dans de nombreuses régions subtropicales.

#### II. Description, utilisations

##### II. 1. Taxonomie et description botanique

Le manguier appartient à la famille des Anacardiacees. Cette famille contient 73 genres. Le genre *Mangifera* comprend 69 espèces, mais la grande majorité des fruits consommés appartient à l'espèce *Mangifera indica*.

**Le manguier** est un arbre à feuilles persistantes, de taille moyenne, variant de 10 à 40 mètres. Sa canopée est ronde et symétrique, plus ou moins dense. Les espèces se développent dans les zones de basse altitude (inférieure à 300 mètres au-dessus du niveau de la mer), bien que certaines apparaissent à des altitudes de 600 à 1900 mètres.

Les fleurs et fruits se développent sur l'arbre sous forme d'inflorescences (plusieurs fruits apparaissent « en grappe » à l'extrémité d'un rameau).



source : Images de la recherche, CIRAD, 1999



**La mangue** est un fruit à mésocarpe charnu, contenant un seul noyau. La taille des mangues varie selon les variétés de 2,5 à 30 cm, et la forme peut être ronde à oblongue. De même la coloration de la peau varie entre le jaune, le rouge et le vert ; la pulpe est jaune plus ou moins orangée et peut être variablement fibreuse. La forme caractéristique de la mangue est due à la formation d'une pointe à l'extrémité inférieure du fruit appelé bec (Cf. Figure 6).

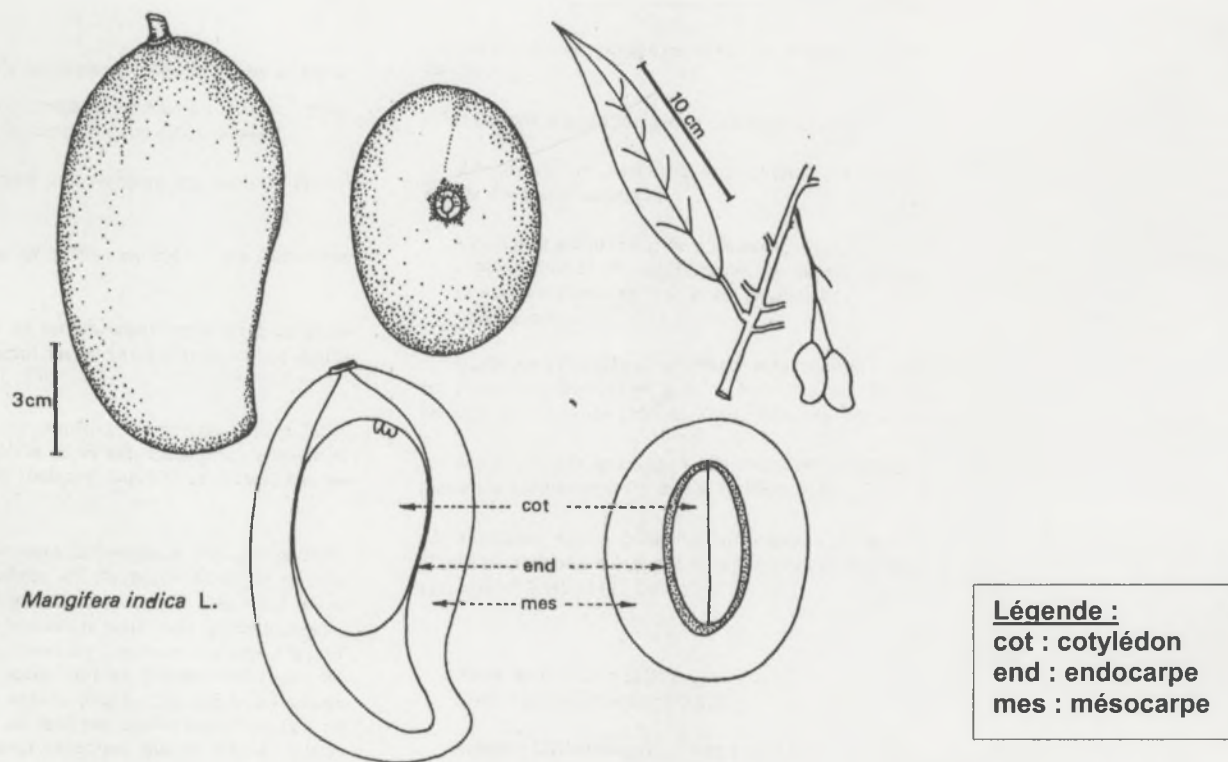


Figure 6 : morphologie structurale de la mangue (d'après C.Trisonthi, 1992)

## II. 2. Cultivars

Plus de 1000 variétés ou cultivars existent, dont seulement une centaine présentent un intérêt commercial (Cf. Figure 7).

La variété utilisée pour l'étude est le cultivar Earlygold :

- Origine : Pine Island, Florida, 1943.
- Fruit : de taille moyenne, forme ronde à oblique, couleur orange avec des taches rouges, sans fibres.
- Variété très précoce.
- Résistante à l'anthracnose.
- Adaptée aux régions côtières.

TABLE 4.2. PRINCIPAL MANGO CULTIVARS OF THE WORLD<sup>1</sup>

Country	Pulpy Cultivars	Juicy Cultivars
India	Alphonso, Bangalora, Banganapalli, Bombai, Bombay green, Chausa, Cherukurasam, Cowasjipatel, Dashehari, Fajri, Fajri Zafrani, Fazli malda, Fernandian, Gulab Khas, Himsagar, Imran pasand, Jehangir, Kalepad, Khas-ul-khas, Kishenbhog, Langra, Mankurad, Mark-e-ara, Mulgoa, Mundappa, Neelum, Olour, Pairi, Panchadarakalasa, Rajapuri, Raneepasand, Rasपुरi, Rataul, Ruman, Safdar pasand, Safeda Malihabad, Samarbahisht chow-sa, Sehroli, Shah pasand, Suvarnaksha, Zardulu	Begrain, Cherukurasam, Mithwa Ghazipur, Nauras, Peddarasam, Rasgola, Raspoonia, Sharbathi, Sunder-shah, Taimuriya
Pakistan	Sindhri and several Indian cultivars	
Philippines	Carabao, Pico	
Africa	Boribo, Ngowe, Apple, Malindi, Mabroka	
Israel	Nimrod and some Florida cultivars	
Australia	Kensington	
Florida	Adams, Alice, Anderson, Brooks, Cambodian, Carrie, Cecil, Davis Haden, Dixon, Early gold, Edward, Eldon, Fascell, Florigon, Fragrance, Gibbons, Glenn, Golden Brooks, Haden, Heinlein, Herman, Irwin, Jacquelin, Keitt, Kent, Lippens, Lucille, Palmer, Pettigrew, Ruby, Saigon, Samini, Sensation, Simmonds, Smith, Springfels, Strothman, Sunset, Tommy Atkins, Van Dyke	Julie, Zill
Hawaii	Pope, Edwards, Buchanan, Joe Welsch, Kensington, Gouveia, Waterhouse, Momi K.	
Trinidad		Julie
Mexico	Ataulfo, Diplomatico, Esmeralda, Haden, Irwin, Keitt, Kent, Manila, Manzana, Naranja, Oro, Piña canario, Sensation, Tommy Atkins	Julie, Zill

Source: Singh (1968); ICAR (1967); Ruehle and Ledin (1965); Lakshminarayana *et al.* (1975A); Campbell and Malo (1967); Brekke *et al.* (1975); Cheema *et al.* (1954).

<sup>1</sup> Names of cultivars from other mango-growing countries are not available.

Figure 7 : principales variétés de mangues (d'après S.Lakshminarayana, 1980)

### II. 3. Qualités nutritives de la mangue

Les principaux constituants de la mangue sont l'eau, les glucides, protides, lipides, minéraux, pigments, tannins et vitamines (Cf. Figure 8).

Les mangues doivent leur importance nutritionnelle à leur teneur en vitamines et minéraux. Vertes, elles sont riches en vitamine C ; mûres, elles représentent une excellente source de carotène (vitamine A) et contiennent aussi de la thiamine et de la niacine. Les minéraux essentiels contenus dans la mangue mûre sont le calcium, le phosphore et le fer.

Le taux élevé de sucres dans la mangue, composants majoritaires et sources d'énergie rapide, lui confère une assez bonne valeur énergétique, de l'ordre de 74 kCal/100g.



<i>Composant</i>	<i>Quantité pour 100 g</i>	<i>Composant</i>	<i>Quantité pour 100 g</i>
Portion consommable	74 g	Sodium	26.0 mg
Eau	81g	Potassium	205.0 mg
Protides	0.6 g	magnésium	27.0 g
Lipides	0.4 g	Carotène	2743.0 µg
Glucides	16.9 g	Thiamine	0.08 mg
Fibres	0.7 g	Riboflavine	0.09 mg
Calcium	14.0 mg	Niacine	0.9 mg
Phosphore	16.0 mg	Vitamine C	16.0 mg
Fer	1.3 mg		

Figure 8 : valeurs nutritionnelles de mangue indienne (Gopalan *et al.* 1971)

#### **II. 4. Consommation, transformation**

La mangue est principalement consommée fraîche. Approximativement 1% de la production est transformée. Les fruits verts ou mûrs sont utilisés pour la production de chutney, pickles, jus et nectars, pulpe et purée congelée, gelées, arômes, confitures, poudres, conserves, fruits déshydratés...( Litz, 1997)

### **III. Evolution physiologique et biochimique de la mangue pendant son développement**

#### **III. 1. Cycle de croissance**

Dans l'hémisphère sud, la floraison des manguiers et l'induction des fruits a lieu du mois de juillet au mois d'octobre (Cf. Figure 9). Généralement, deux à trois floraisons se produisent chaque saison. Les fruits connaissent une phase de développement pouvant durer selon les cultivars de 12 à 16 semaines. La période de récolte se déroule de décembre en avril. La mangue est récoltée encore verte, le mûrissement hors de l'arbre permettant de développer de meilleures qualités organoleptiques.

### III. 3. Biochimie de la mangue

#### III.3.a. Formation et rôle des molécules dans les végétaux (d'après R.Heller, 1993)

##### i. Glucides

Les principaux glucides présents dans les végétaux sont des oses (glucose, fructose, maltose...) et des polyholosides (saccharose et amidon).

Les glucides résultent de l'assimilation du  $\text{CO}_2$  par les feuilles des végétaux : à partir de l'énergie lumineuse, la photosynthèse permet la formation d'un réducteur (NADPH) qui va intervenir dans le cycle de Calvin au cours duquel se métabolisent les glucides.

La biosynthèse des glucides (Cf. figure 10) se fait à partir du produit final du cycle de Calvin : l'aldéhyde phosphoglycérique (AldPG). A partir de l'AldPG sont synthétisés le fructose-6-P, le glucose-6-P, et le glucose-1-P, qui sont à l'origine des glucides :

- le fructose résulte de la déphosphorylation du fructose-6-P
- le glucose est produit par déphosphorylation du glucose-6-P
- le saccharose est formé à partir du glucose-1-P et du fructose-6-P
- l'amidon est synthétisé à partir d'unités glucose-1-P

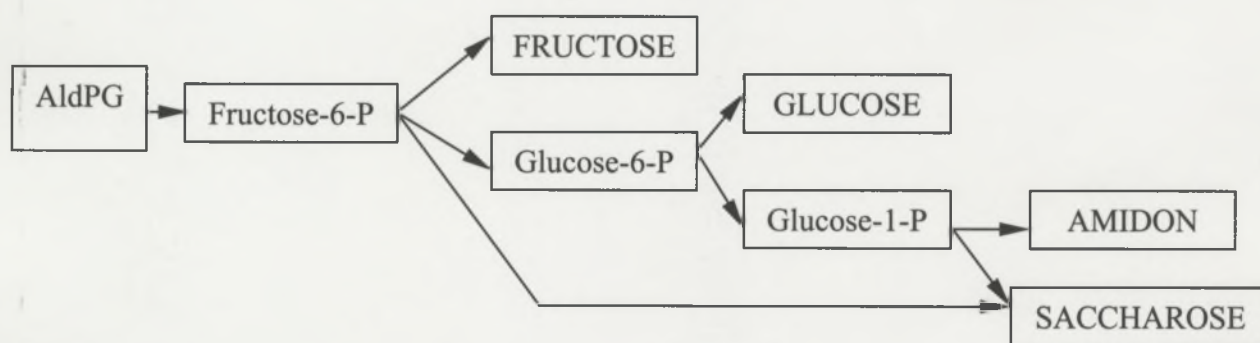


Figure 10 : biosynthèse des glucides dans les végétaux.

Les glucides sont les principales substances de réserve des végétaux. Ils sont les substrats qui permettent par les voies cataboliques (glycolyse - cycle de Krebs, cycle des pentoses, phosphorylations oxydatives) de fournir l'énergie et les matériaux nécessaires aux cellules.

L'accumulation de glucides dans de nombreux fruits, dont fait partie la mangue, est principalement une accumulation d'amidon. Lors de la maturation, cet amidon sera dégradé en sucres solubles (glucose, fructose et saccharose).

##### ii. Acides organiques

Certains des acides organiques contenus dans les végétaux sont formés par catabolisme des sucres. C'est le cas de l'acide pyruvique, résultat de la glycolyse. Le cycle de Krebs est une suite de réactions dégradant cet acide pyruvique avec comme intermédiaires l'acide citrique, isocitrique,  $\alpha$ -cétoglutarique, succinique, fumarique, malique et oxaloacétique.

Une partie de ces acides peut être utilisée par le végétal pour d'autres synthèses.



### iii. Acides aminés et protéines

Les végétaux tirent leur azote du sol. Ils peuvent l'assimiler sous forme organique lorsqu'il s'agit de petites molécules, mais l'azote minéral sous forme ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ) et nitrique ( $\text{NO}_3^-$ ) est préférentiellement utilisé. Après assimilation, l'azote est réduit dans les racines et les feuilles à sa forme ammoniacale, puis utilisée dans la biosynthèse des aminoacides. Ces aminoacides sont alors transportés à l'intérieur des cellules où s'opère la protéogénèse.

### iv. Minéraux

Les éléments minéraux présents dans les végétaux sont classés en macroéléments, présents à des taux de l'ordre de quelques p. mille à quelques p. cent, et en oligoéléments présents à des taux inférieurs à 1 p. mille. Les macroéléments sont l'azote, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre et le phosphore, ainsi que le sodium, le chlore et le silicium chez certains végétaux. Les principaux oligoéléments sont le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le bore.

Les minéraux sont collectés chez les végétaux supérieurs dans la solution du sol par les poils absorbants de la racine, sous forme d'ions.

Leurs rôles dans la plante sont variés :

- Le **potassium** est l'élément le plus abondant dans les végétaux. Il est présent sous forme  $\text{K}^+$ , très mobile, dans les liquides intracellulaires. Ses fonctions y sont multiples : il joue un rôle prépondérant dans la création de la pression osmotique et assure l'équilibre acidobasique de la cellule. Ses flux permettent les mouvements de cellules et les phénomènes de transports d'ions transmembranaires. Le potassium est de plus un ion accompagnateur des anions dans leur migration et leur accumulation. Il intervient également dans les réactions de synthèse des polyholosides et protéines, et active certaines kinases.
- Le **sodium** est tout juste toléré dans la majorité des cellules végétales, qui ont tendance à le refouler.
- Le **calcium**, peu mobile, est facilement adsorbé par les membranes cellulaires. Il augmente la cohésion et la perméabilité des parois, freinant la pénétration d'eau et de la plupart des ions à l'intérieur des cellules. Le calcium pénètre cependant dans les cellules, où il joue un rôle dans l'osmorégulation, l'activation de certaines enzymes et l'action de certaines hormones.
- Le **magnésium** est un constituant de la chlorophylle. De plus il active la plupart des ATPases et certaines kinases.

Les minéraux ont une influence sur la qualité des fruits. Par exemple le calcium retarde la maturation et la sénescence, et permet de réduire les dégradations lors du stockage (Ferguson, 1984 ; Bangerth, 1979 ; cités par Simmons, 1998).

### III.3.b. circulation des nutriments dans les végétaux

La circulation des nutriments se fait par l'intermédiaire de la sève. Il faut distinguer deux types de sève : la sève brute et la sève élaborée.

- La **sève brute** est une solution très diluée de sels minéraux et de quelques composés organiques. Originaires des racines, elle circule par les vaisseaux du xylème (Cf. Figure 11). La sève brute sert au transport de l'eau et des éléments minéraux.
- La **sève élaborée**, plus concentrée, contient les glucides élaborés par les feuilles ou provenant de l'hydrolyse des réserves, ainsi que des aminoacides et amines, des minéraux en très faible quantité et des hormones. Cette sève circule par le phloème, en se déplaçant des organes élaborateurs (feuilles) vers les tissus d'utilisation et de réserve. La circulation peut se faire en sens inverse lorsque les réserves sont mobilisées par la plante.

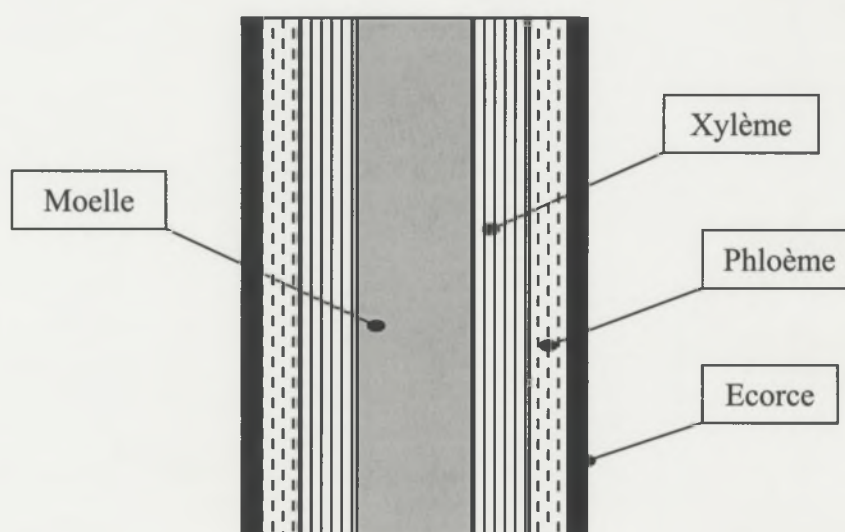


Figure 11 : compartimentation du rameau

### III.3.c. Évolution biochimique de la mangue

#### i. Eau

Le taux d'humidité de la mangue est faible pendant la phase juvénile du fruit (70%), puis il atteint un maximum pendant la phase de grossissement cellulaire (86 %), décroît légèrement, et reste constant jusqu'à maturité.

#### ii. Glucides

Les principaux sucres libres présents dans la mangue sont le glucose, le fructose et le saccharose. D'autres oses comme le xylose et l'arabinose apparaissent en quantités moindres pendant le mûrissement.

Le principal changement de composition glucidique est l'accumulation d'amidon dans la pulpe et la peau, pendant toute la phase de développement.

Les travaux de Lakshminarayana *et al.* (1970) sur le cultivar Alphonso ont montré que le taux de sucres libres tend à diminuer pendant le développement de la mangue.



Pendant le mûrissement, les taux de glucose et fructose restent constants, alors que le taux de saccharose augmente d'un facteur 3 à 4, entraînant une hausse du taux de sucre total. D'autres études ont confirmé ce phénomène sur différents cultivars.

L'augmentation du taux de saccharose pendant la maturation de la mangue est attribué à la dégradation de l'amidon. Une théorie, basée sur l'augmentation dans la mangue des taux de certaines enzymes pendant la maturation (Mattoo et Modi 1970, Shashirekha et Patwardhan 1976, cités par Lakshminarayana, 1980), allègue que les acides organiques sont convertis en sucres libres par un mécanisme de glycolyse inversé.

### iii. Acides organiques

Les acides organiques majoritaires dans la mangue sont les acides citriques, tartriques, maliques, oxaliques et glycoliques (Fang, 1965, cité par Lakshminarayana, 1980).

La présence d'acides intermédiaires du cycle de Krebs, acides pyruviques, oxaloacétiques et  $\alpha$ -cétoglutarique, a été mise en évidence (Krishnamurthy et al. 1971, Krishnamurthy et Subramanyam 1973, cités par Lakshminarayana, 1980).

Si l'acidité titrable des fruits diminue pendant leur développement, les acides organiques montrent des comportements variables: dans la mangue Alphonso, la concentration en acides citriques et succiniques diminue alors que celle des acides maliques et uroniques augmente (Shashirekha et Patwardhan, 1976). La réduction de l'acidité joue un rôle important pour les propriétés organoleptiques en modifiant l'équilibre acide/sucre.

### iv. Acide ascorbique (Vitamine C)

La concentration en vitamine C varie selon les cultivars de 13 à 80 mg pour 100 grammes de pulpe. Lakshminarayana *et al.* ont montré que le taux d'acide ascorbique croît au début du développement des fruits pour atteindre un maximum au cours de la cinquième semaine après induction du fruit, puis décroît jusqu'à la huitième semaine, à partir de laquelle il se stabilise.

Outre la vitamine C, la mangue est aussi riche en provitamine A ( $\beta$ -carotène), et en vitamines du groupe B.

### v. Protéines et acides aminés

La mangue ne contient que 0.5% à 1% de protéines. La pulpe contient moins de 0.2 % d'azote. L'azote total dans le fruit diminue fortement pendant les six premières semaines après induction, puis reste constant jusqu'à maturité physiologique. (Lakshminarayana et al. 1970).

### vi. Minéraux

Plus de 50% des minéraux de la mangue sont localisés dans la pulpe. Sodium, Phosphore, La composition minérale d'une mangue indienne mûre a été rapportée par Gopalan *et al.* (1977) (Cf. Figure 12).

Minéral	Total	Calcium	Phosphore	Fer	magnésium
Concentration (mg/100g)	400	14	16	1.3	27
Minéral	sodium	Potassium	Cuivre	Soufre	Chlorure
Concentration (mg/100g)	26	205	0.2	17	3

Figure 12 : composition minérale de mangue indienne mûre

## Partie 4 : Matériel et méthodes

### I. Echantillonnage

L'échantillonnage des mangues a été effectué par Mathieu Lechaudel dans le cadre de sa thèse de doctorat. Les mangues ont été cultivées dans la parcelle MA06 de manguiers Early Gold de la station CIRAD de Bassin Plat.

#### I. 1. Conditions expérimentales

Les rameaux de manguiers subissent une décortication annulaire. La sève brute circule normalement, mais la sève élaborée ne migre plus (Cf. [figure 13](#)). Le rameau fonctionne en autarcie en terme de nutriments. Les fruits se développent dès lors uniquement à partir des substances produites par les réactions photosynthétiques et des assimilats contenus dans les feuilles et le rameau.

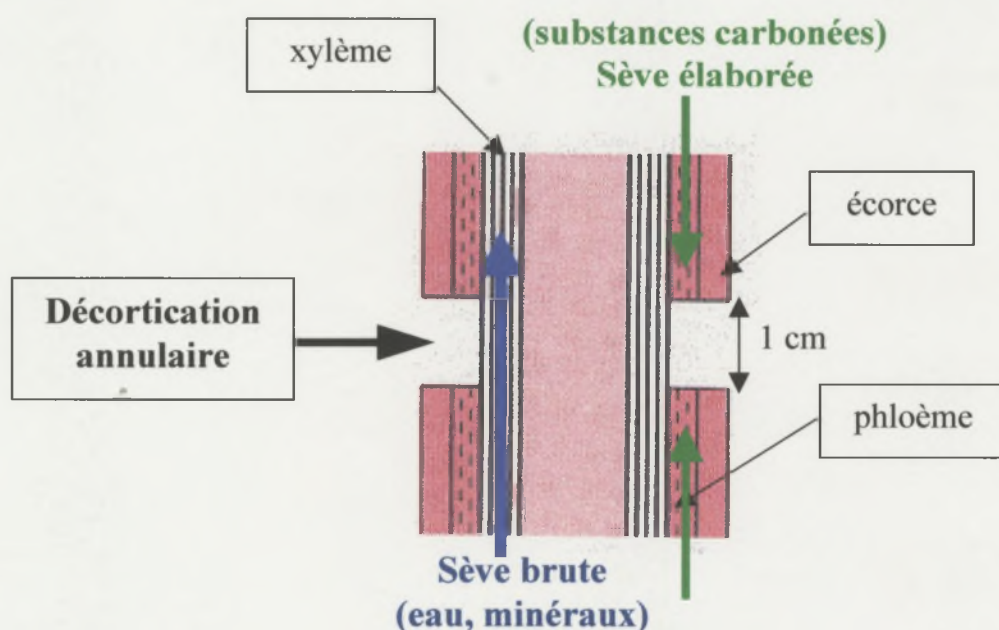


Figure 13 : La décortication annulaire



Pour étudier l'influence de la disponibilité des apports carbonés, les rameaux sont préparés selon cinq traitements de charges en fruits :

- |                     |                      |                      |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| - 10 Feuilles/fruit | - 50 Feuilles/fruit  | - 150 Feuilles/fruit |
| - 25 Feuilles/fruit | - 100 Feuilles/fruit |                      |

## **I. 2. Récolte et préparation des échantillons**

La campagne de prélèvement a lieu sur huit semaines. Chaque semaine, sept rameaux (soit sept répétitions) sont prélevés pour chaque traitement.

Dans le cadre de notre étude, les analyses sont effectuées uniquement sur la pulpe, pour les traitements 25, 50 et 100 feuilles par fruit.

Celle ci est découpée en morceaux, un échantillon représentatif de 100 grammes est prélevé. La campagne de prélèvement ayant eu lieu du 8 novembre au 4 janvier, les échantillons ont été plongés dans l'azote liquide pour stopper les réactions enzymatiques (surgélation instantanée), puis stockés à  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Sur chacun des 182 échantillons des mesures de concentrations en sucres, acides organiques, cations, amidon, mesure du pH, acidité titrable, ESS et matière sèche sont réalisées.

## **II. Mesures morphologiques et analyses physico-chimiques classiques**

### **II. 1. Mesures morphologiques**

Des mesures de poids, longueur, épaisseur et diamètre sont opérées sur les fruits avant préparation. Le volume est approximé en considérant que la forme des fruits est parallélépipédique ( $\text{Volume} = \text{longueur} \times \text{largeur} \times \text{épaisseur}$ ).

### **II. 2. Préparation des échantillons**

Une fraction de la pulpe congelée est dissociée pour la détermination de l'extrait sec. La pulpe restante est décongelée, puis finement broyée à l'aide d'une centrifugeuse à fruits. Une partie du broyât est conditionnée puis recongelée pour la mesure d'amidon, ainsi que pour les cations après avoir subi un traitement chimique. Le jus est extrait du reste du broyât par pressage, puis conditionné et immédiatement recongelé pour les autres opérations.

### **II. 3. ESS**

L'extrait sec soluble est mesuré par réfractométrie sur le jus de mangue, à l'aide d'un réfractomètre à main WYT 4 Grosseron de précision  $1^{\circ}\text{Brix}$ .

## II. 4. pH

Le pH est mesuré sur le jus non dilué à l'aide d'une sonde pHmétrique SCHOTT GERÄDE pH meter CG 818.

## II. 5. Acidité titrable

L'acidité titrable est déterminée par méthode de titrage potentiométrique décrite dans la norme AFNOR V05-101, sur titrimètre titroline V60. Le jus de mangue dilué au dixième est placé sous agitation dans un bécher, une sonde potentiométrique mesure son pH. Une solution de soude 0,1 N est versée jusqu'à atteindre un pH de  $8,1 \pm 0,2$ .

Le volume de soude versé permet de calculer l'acidité titrable, exprimée en Milliéquivalents pour 100 g de matière fraîche selon la formule :

$$\text{Acidité} = 100 \times \frac{V_{NaOH}}{V_{Jus}} \times \% MF$$

Avec :  $V_{NaOH}$  : volume de soude versée

$V_{Jus}$  : volume de jus initial

$\% MF$  : pourcentage de matière fraîche dans la pulpe

## II. 6. Matière sèche

La matière sèche est mesurée après broyage, pesage et étuvage de la pulpe de fruit. Les mesures ont été effectuées par Mathieu Lechaudel.

## II. 7. Sucres

Le dosage des sucres libres majeurs (fructose, glucose et saccharose) a été effectué au laboratoire de la Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes.

### II.7.a. Principe de la méthode

Les sucres sont analysés sous chromatographie liquide haute performance (HPLC) d'échange d'anions.

#### i. Principe général de la chromatographie ( Dalmeyda, V. et David, C., 1999)

La chromatographie est une technique d'analyse séparative et quantitative développée depuis le début du siècle.

Les composés à séparer sont mis en solution dans un solvant. Ce mélange est introduit dans la phase mobile liquide (éluant). Suivant la nature des molécules, elles interagissent plus ou moins avec la phase stationnaire contenue dans un tube appelé colonne chromatographique.



La chromatographie en phase liquide est une méthode physico-chimique basée sur des différences d'interactions entre les solutés, la phase mobile et la phase stationnaire. Ces interactions provoquent des échanges qui aboutissent à la séparation désirée.

### ii. fonctionnement général (Cf. figure 14)

La phase mobile, poussée par une pompe sous haute pression, parcourt en permanence le système chromatographique.

Le mélange de solutés dissous dans un solvant, est injecté par l'intermédiaire d'une vanne, puis transporté au travers du système chromatographique.

Au niveau de la colonne, les composés en solution se répartissent suivant leur affinité entre la phase mobile et la phase stationnaire.

La théorie de la séparation montre que le signal enregistré à la sortie d'un détecteur approprié en fin de colonne a la forme d'un pic. Si la séparation est bonne, chaque pic représente un constituant du mélange à séparer. L'ensemble des pics enregistrés est appelé chromatogramme.

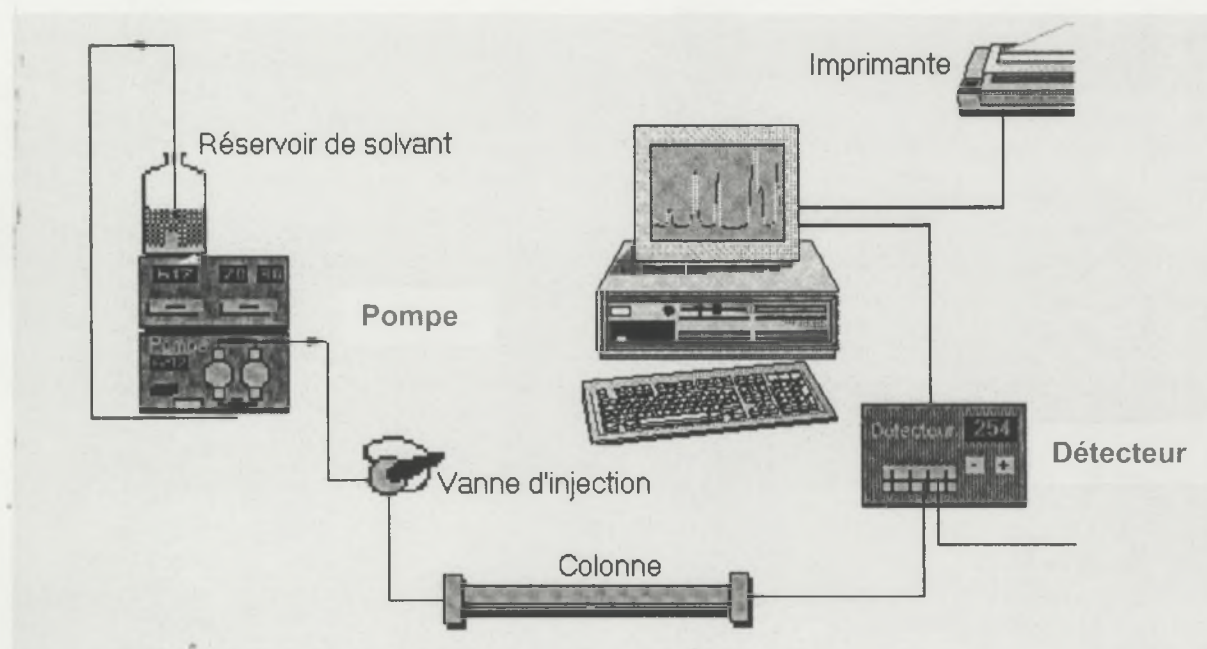


Figure 14 : descriptif expérimental de chromatographie

### iii. La chromatographie ionique

Le principe de la chromatographie ionique est basé sur l'ionisation partielle ou totale des molécules sous un potentiel donné. Les molécules ionisées peuvent alors être séparées par échange d'ions avec la phase stationnaire et la phase mobile.

Les sucres sont des molécules électrochimiquement actives et se comportent à pH fortement basique ( $\text{pH} > 12$ ) comme des acides faibles. Les sucres ionisés sont retenus par la phase stationnaire porteuse de groupements ammonium, puis séparés sélectivement par l'éluant en fonction de leur charges.

La détection se fait par ampérométrie pulsée, technique basée sur la mesure du courant d'oxydation des sucres à un potentiel déterminé, la concentration des sucres étant proportionnelle au courant d'oxydation mesuré à la surface de l'électrode de travail.

L'électrode est soumise à un cycle de trois potentiels répété deux fois par seconde : potentiel d'oxydation des sucres, potentiel de nettoyage de l'électrode, potentiel de reconditionnement de l'électrode. L'ampérométrie pulsée permet une mesure :

- *stable* : le cycle de potentiels permet un nettoyage continu de l'électrode.
- *spécifique* : seules les molécules possédant un groupement alcool secondaire répondent au potentiel d'oxydation
- *sensible* : le seuil de détection est de quelques dizaines de picomoles.

Le logiciel couplé au chromatographe permet le pilotage de l'appareillage, l'acquisition des données, ainsi que le traitement des résultats.

Les pics obtenus sont identifiés, intégrés et quantifiés à partir d'un étalon externe (Cf. figure 15)

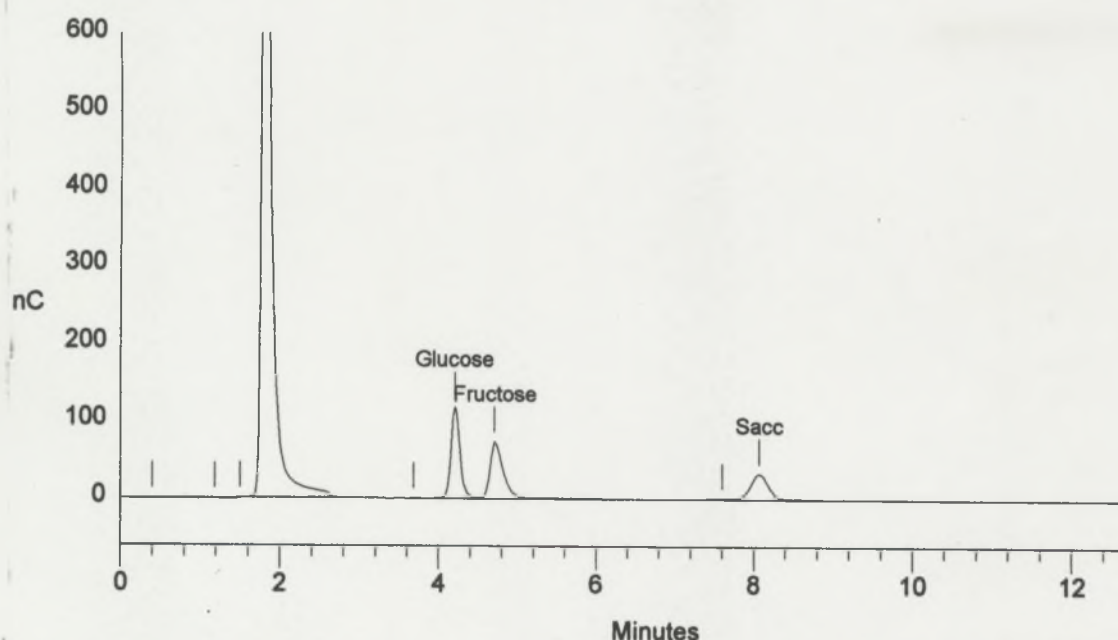


Figure 15 : exemple de chromatogramme

#### II.7.b. Conditions expérimentales

Appareil **DIONEX**

Colonne : Carbowac PA1, 4 x 250 mm (réf. PN035391)

Phase stationnaire : résine de billes de polystyrène-divinyl-benzène recouvertes de microparticules de latex, porteuses de groupements d'ammonium quaternaire.

Précolonne : Carbowac PA1 guard

Boucle d'injection de 25 µL

Éluant : solution composée de 85% de soude à 200 mM et 15 % d'eau ultrapure (résistivité 18,5 mΩ)

Mode d'élution : isocratique

Débit d'éluant : 1 mL/min

Détecteur : de type ED40

Logiciel de pilotage : Peaknet de DIONEX



### II.7.c. Protocole expérimental :

Le jus de mangue est décongelé, puis dilué au 1000<sup>ème</sup> avec de l'eau ultrapure 18,5 mΩ. La solution est ensuite filtrée sous vide sur membrane de seuil de filtration 0.22µm avant d'être injectée dans l'appareil.

Les résultats sont obtenus en mg de sucre par litre de jus, et exprimés en mg de sucres pour 100 g de matière fraîche à l'aide de la formule :

$$[sucre]_{(mg/100gMF)} = \frac{[sucre]_{(mg/L)} \times \%MF}{1000}$$

Avec

%MF : pourcentage de matière fraîche dans la pulpe

## II. 8. Amidon

### II.8.a. Principe de la méthode

Le dosage de l'amidon a été réalisé au laboratoire d'analyse des sols du CIRAD La Bretagne. Les analyses ont été effectuées suivant la méthode de dispersion basique, hydrolyse enzymatique et dosage de l'amidon, selon une procédure opérationnelle basée sur la norme NF V18-121 Dosage de l'amidon, mars 1997.

### II.8.b. Protocole expérimental

La pulpe de mangue broyée est préalablement décongelée, puis une fraction d'environ un gramme est pesée précisément.

L'échantillon est lavé à deux reprises avec de l'éthanol à 40% (v/v) pour éliminer les sucres solubles et produits solubles de dégradation de l'amidon : la pulpe et 20 ml d'éthanol sont placés dans un tube à centrifuger bouché et agité durant 20 minutes. L'éthanol est séparé par centrifugation.

Le résidu subit alors une dispersion basique à l'aide d'hydroxyde de potassium 1N : 10 ml de KOH et 10 ml d'eau distillée sont additionnés à l'échantillon, qui est ensuite placé dans un bain-marie à 60°C sous agitation pendant 30 minutes.

Une fraction de l'échantillon dispersé est ajustée à pH 4.6, additionnée d'amyloglucosidase, et ajustée à volume dans une fiole jaugée au moyen d'eau distillée. Les tubes sont portés à 60°C en bain-marie sous agitation pendant 30 minutes, l'amyloglucosidase hydrolyse alors l'amidon en unités glucose.

Le glucose obtenu est dosé par spectrophotométrie au moyen de tests enzymatiques Boehringer.

La teneur en glucose dosée est exprimée en g/L. la concentration en amidon, en g pour 100g de matière fraîche, est calculée selon la formule :

$$[Amidon]_{(g/100g\ MF)} = \frac{[Glucose]_{(g/L)} \times Vf \times 0.9 \times Dil \times 100}{m_{\text{prise d'essai}} \times 1000}$$

Avec :

*Vf* : volume de la fiole jaugée

0.9 : facteur de réaction de l'amidon en glucose

*Dil* : coefficient de dilution due à la dispersion basique

*m* prise d'essai : masse en g de la prise d'essai

### **III. Méthodologies développées pendant le stage : dosage d'ions dans le jus de mangue par électrophorèse capillaire**

#### **III. 1. Introduction : choix de la technique**

Plusieurs facteurs ont motivé le choix de l'électrophorèse capillaire pour les dosages d'ions dans la mangue.

Le pôle agroalimentaire ne dispose pas pour l'instant de l'appareillage classique nécessaire (HPLC). Il était donc nécessaire de trouver une alternative à la chromatographie pour doser les ions présents dans la mangue.

L'idée d'utiliser l'électrophorèse capillaire (ou CIA : Capillary Ion Analyser) était envisageable car cette technique est employée au sein du CIRAD La Bretagne pour le dosage de cations et d'anions inorganiques sur différents milieux (sols, végétaux, résidus organiques). La possibilité d'utiliser cette technique pour l'analyse de cations et d'acides organiques dans la mangue a été confirmée par la thèse de doctorat soutenue par Andromaque Laksaridou-Monnerville (1997). Cependant, les objectifs de séparation étant différents, la méthodologie développée pendant cette thèse n'était pas applicable dans le cadre de l'étude. Une phase de mise en place et de calibration de la méthodologie a donc été nécessaire.

Ces manipulations ont été mises en place et effectuées au laboratoire d'analyse des sols du CIRAD La Bretagne.

#### **III. 2. Description de l'électrophorèse capillaire**

##### **III.2.a. Principe de la méthode :**

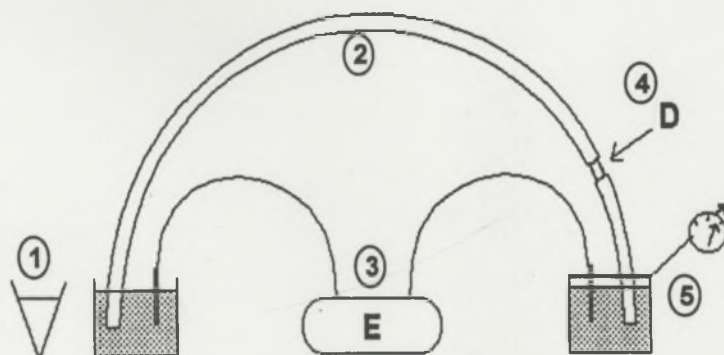
L'échantillon à analyser est introduit dans un tube capillaire rempli d'un électrolyte. Une différence de potentiel est alors appliquée entre les deux extrémités du capillaire. Sous l'effet du champ électrique les différentes espèces vont migrer vers la charge opposée.

La séparation des espèces s'appuie sur leur mobilité, caractéristique physico-chimique basée sur la conductivité et la masse molaire d'un ion : plus l'ion est petit et chargé, plus il est mobile et donc plus sa vitesse de migration est importante.



### III.2.b. Schéma général (Cf. figure 16) :

L'électrophorèse capillaire est composée d'un tube capillaire plongé aux deux extrémités dans une cuve d'électrolyte. Un générateur permet d'imposer un potentiel aux bornes du capillaire. Un système de détection est placé à l'extrémité du tube.



#### Les fonctions essentielles du CIA analyser :

- ① Carrousel d'échantillons et d'électrolytes
- ② Capillaire de silice fondue, de dimensions habituelles 75  $\mu\text{m}$  X 60 cm, associé à deux électrodes en platines situées à ses extrémités, et contrôlé en température - ainsi que toute l'enceinte du CIA - par effet Peltier de 10 à 45 degrés C.
- ③ Alimentation haute tension à polarité variable, capable de générer des potentiels de 0 à 30 KV par incréments de 0.01 KV, et asservie par l'électronique du CIA.
- ④ Détecteur UV à haute sensibilité monté en ligne sur le capillaire.
- ⑤ Carrousel d'électrolytes et système de vide destiné aux purges du capillaire.

Figure 16 : schéma de description de la CIA

### III.2.c. Injection

La CIA nécessite de très faibles volumes d'échantillon, de l'ordre de 10 nl, d'où impossibilité d'utiliser une boucle d'injection. Le mode d'injection utilisé est le mode hydrostatique, qui utilise comme source d'énergie la gravité : le tube plongé dans l'échantillon est surélevé pendant une durée de 20 à 30 secondes (Cf. figure 17).

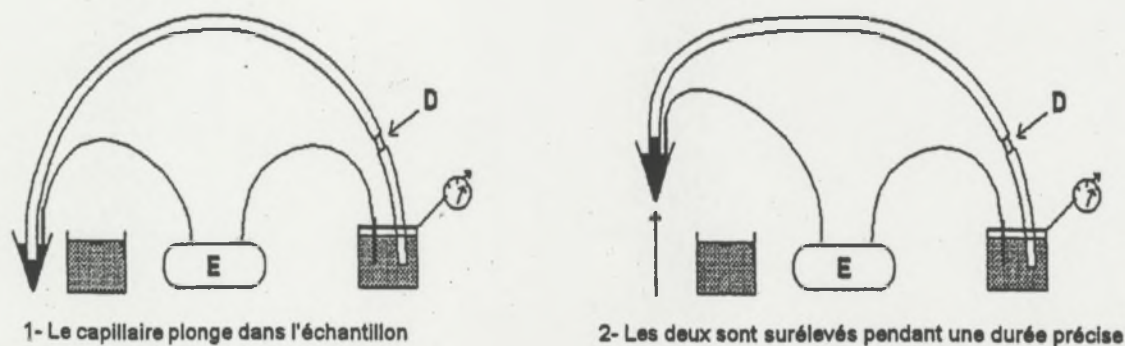


Figure 17 : description de l'injection hydrostatique

### III.2.d. Migration

En plus de l'effet du champ électrique, la migration est soumise au phénomène de FEO (Flux Electroosmotique), dû à la fois au faible diamètre du capillaire, à sa composition (présence de sites silanols), au pH de l'électrolyte et à la différence de potentiel entre les bornes du capillaire.

Le FEO est créé par le déplacement de l'électrolyte vers la cathode et par l'excès de protons libéré par les sites silanols.

Pour l'analyse des cations, le FEO a un effet positif (accélération de l'analyse) (Cf. figure 18).

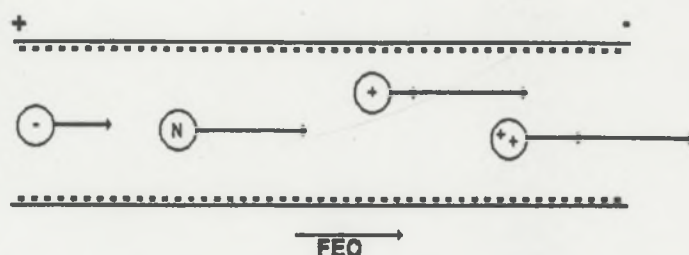


Figure 8 : effet de la FEO pour l'analyse de cations

Par contre pour l'analyse d'anions, il a un effet négatif en ralentissant la séparation. Pour pallier cet effet, un FEO inverse est créé en ajoutant dans l'électrolyte un tensioactif cationique (Osmotic Flow Modifier) qui forme des hémimiscelles à la surface du capillaire (Cf. figure 19).

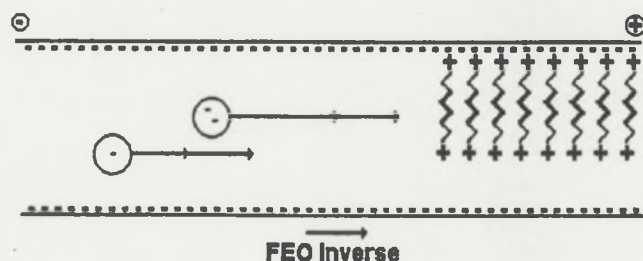


Figure 19 : description de la FEO inversée

### III.2.e. Détection

La détection se fait avec un détecteur UV à haute énergie qui permet de détecter les ions selon leur nature et celle de l'électrolyte utilisé en UV direct et UV inverse, ainsi qu'à plusieurs longueurs d'ondes (185 nm et 254 nm)

### III.2.f. Instrumentation

L'appareil utilisé est un CIA analyser WATERS



### III. 3. Dosage des cations

Le dosage du potassium, du calcium, du magnésium et du sodium est une analyse de routine au laboratoire d'analyse des sols.

#### III.3.a. Conditions expérimentales

Les conditions utilisées sont celles décrites dans le cookbook Waters version 2.0 pour l'analyse des cations alcalins et alcalino-terreux.

*Electrolyte* : UV CAT 2

*Capillaire* : silice fondue (75µm x 60 cm)

*Potentiel d'analyse* : 20 kV

*Courant* : 7 µA

*Mode d'injection* : hydrostatique

*Détection* : UV inverse

185 nm/Lampe mercure

*Température* : 25°C ou ambiante

*Alimentation* : positive

*Constante de temps* : 0.3 s

*Acquisition* : 20 points/s

*Durée d'injection* : de 20 à 30 s

*Précision* : de l'ordre de 5 %

#### III.3.b. Protocole expérimental :

Cinq grammes de pulpe de mangue sont complétés à 10 ml avec une solution d'acide trichloroacétique à 12%. L'échantillon est agité et repose pendant 15 minutes avant d'être congelé. Ce traitement chimique dissocie les cations contenus dans les parois cellulaires de leurs supports, permettant de les isoler sous leur forme.

L'échantillon est décongelé avant analyse, filtré sous vide sur membrane de porosité 0.22 µm pour recueillir la phase liquide, puis dilué au dixième avant d'être injecté dans le carrousel d'échantillons.

La concentration est obtenue en mg par litre d'échantillon. elle est convertie en mg pour 100 grammes de matière fraîche avec la formule :

$$[K^+]_{(mg / 100 g MF)} = [K^+]_{(mg / L_{ech})} \times Dil \times \frac{V_{sol}}{m_{pulpe}} \times 100$$

Avec :

*Dil* : coefficient de dilution de l'échantillon

*V<sub>sol</sub>* : volume de la solution de pulpe et acide trichlore acétique

*m<sub>pulpe</sub>* : masse de pulpe dans la solution de pulpe et acide trichlore acétique

### III. 4. Dosage des acides organiques

Les acides que l'on cherche à analyser sont les acides citrique, malique, tartrique, fumarique et ascorbique (vitamine C), ainsi qu'un acide descripteur du cycle de Krebs : l'acide pyruvique. Les acides organiques sont dosés sous FEO inversé.

#### III.4.a. Conditions expérimentales

*Electrolyte* : Phosphate 7.5 mM, OFM-OH

*Capillaire* : silice fondue (75µm x 60 cm)

*Potentiel d'analyse* : 17 kV

*Courant* : 7 µA

*Isomigration* : 120 secondes

*Mode d'injection* : hydrostatique

*Détection* : UV inverse, 185 nm/Lampe mercure

*Température* : 25°C ou ambiante

*Alimentation* : positive

*Constante de temps* : 0.3 s

*Acquisition* : 20 points/s

*Durée d'injection* : 30 s

#### III.4.b. Protocole expérimental :

Le jus de mangue est décongelé, puis deux dilutions au dixième et au centième sont préparées. L'injection du jus au centième permet de doser l'acide citrique majoritaire, l'injection au dixième permet l'analyse des autres acides, présents en plus faibles quantités.

Les teneurs en acides sont obtenues en mg par litre de jus, puis exprimées en g pour 100g de matière fraîche grâce à la formule :

$$[Acide]_{(mg / 100 g MF)} = \frac{[Acide]_{(mg / L_{jus})} \times \% MF}{1000}$$

Avec

%MF : pourcentage de matière fraîche dans la pulpe



## Partie 5 : Résultats et discussions

### I. Croissance morphologique des fruits

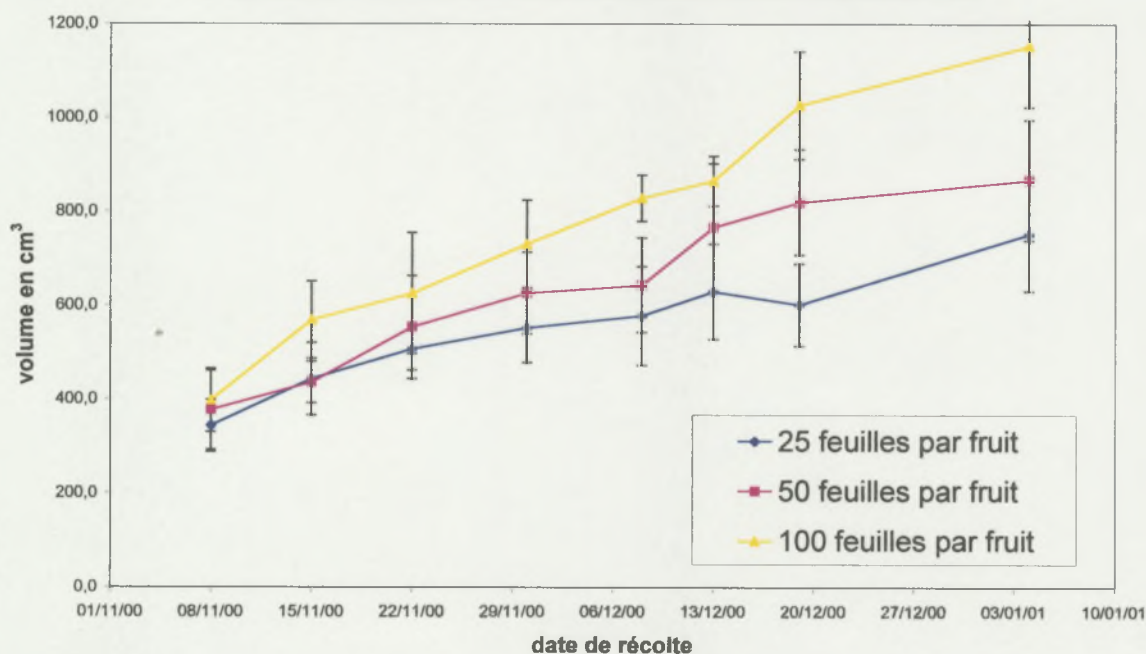
Les courbes de croissance morphologique des fruits suivent une même dynamique (Cf. figures 20 et 21) : après une phase de grossissement rapide de quelques semaines, la vitesse de croissance diminue légèrement.

L'allure de la courbe laisse supposer que les mangues se trouvent dans la troisième partie de leur sigmoïde de croissance morphologique ; les fruits sont récoltés à partir de la fin du stade adolescent (phase de grossissement cellulaire) et pendant la phase de maturation.

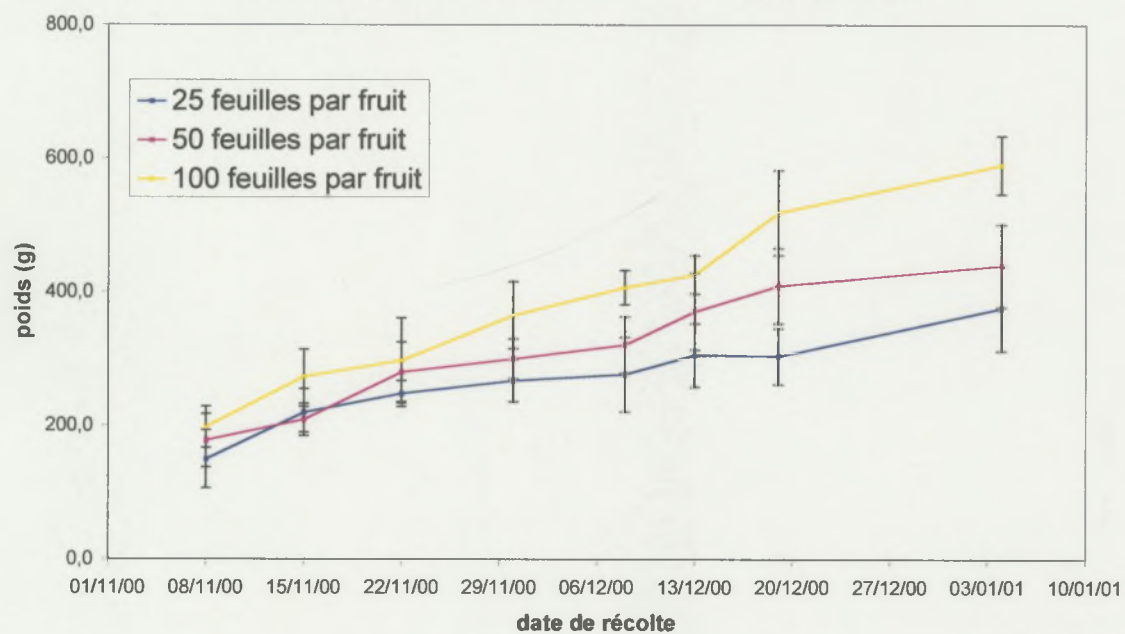
Les différents traitements, d'abord proches, se différencient à partir de la troisième date de prélèvement. Le volume approximatif final des mangues pour les traitements 25, 50 et 100 feuilles par fruit est respectivement de 664, 742 et 1007 cm<sup>3</sup>, les poids en masse fraîche sont de 376, 439 et 590 grammes.

Les différences entre les traitements sont très marquées, surtout entre le traitement 100 feuilles par fruit et les deux autres : les fruits du traitement 100 F/f sont presque deux fois plus volumineux et lourds que ceux du traitement 25 F/f.

**Figure 20 : Croissance en volume moyen des mangues**



**Figure 21 : Croissance en poids frais des mangues**



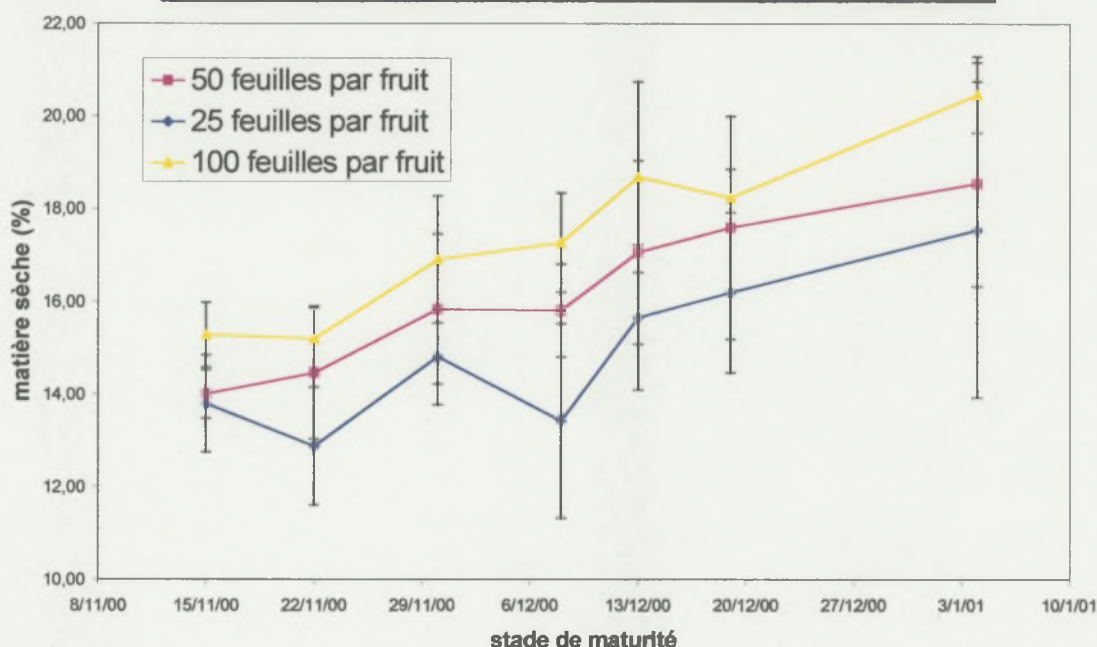


## II. Évolution du taux de matière sèche

Le taux de matière sèche augmente régulièrement pendant le développement de la mangue, pour atteindre un maximum de 17% à 20% (Cf. figure 22). Une différence est nettement visible entre les trois traitements au cours de la croissance.

L'analyse de variance (Cf. annexe 1) confirme que le traitement et la date de récolte ont un effet significatif sur le pourcentage de matière sèche dans la pulpe. Le test de Tukey atteste que les résultats de chaque traitement sont distincts.

**Figure 22: évolution de la matière sèche dans la pulpe de mangue en fonction du stade de maturité selon différents traitements**



Les fruits issus des traitements à haut rapport feuilles/fruit ont une teneur en matière sèche supérieure. Cette différence peut être due à des phénomènes de circulation de sève dans le phloème.

La sève phloémienne des rameaux chargés en feuilles est supposée plus riche en assimilats carbonés issus de la photosynthèse (Souty *et al.* 1999). Les fruits qui puisent leurs réserves dans ces rameaux accumulent par conséquent plus de nutriments et moins d'eau.

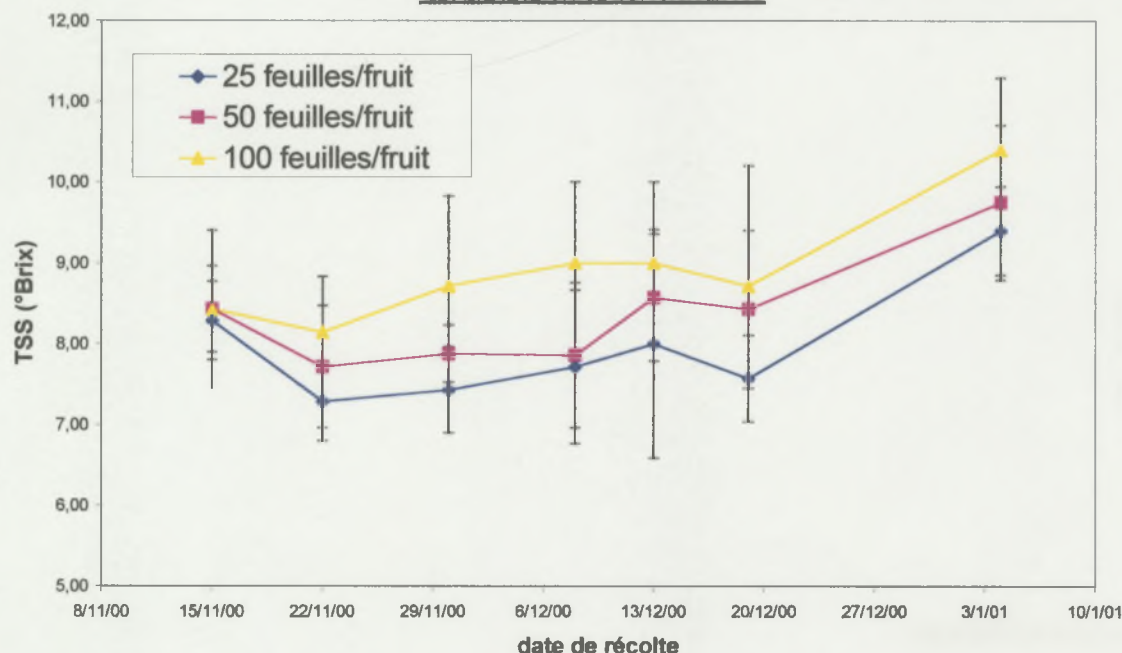
### III. Teneurs en glucides

#### III. 1. ESS

L'extrait sec soluble de la pulpe des fruits augmente lors de leur développement. Il diminue légèrement entre les deux premiers stades de maturité, croît lentement jusqu'à la sixième date de récolte, puis augmente plus rapidement (Cf. figure 23).

Les traitements ont un effet sur le ESS : il augmente avec le ratio feuilles par fruits.

**Figure 23 : évolution de l'ESS de la pulpe de mangue en fonction de son stade de maturité**



#### III. 2. Sucres majeurs

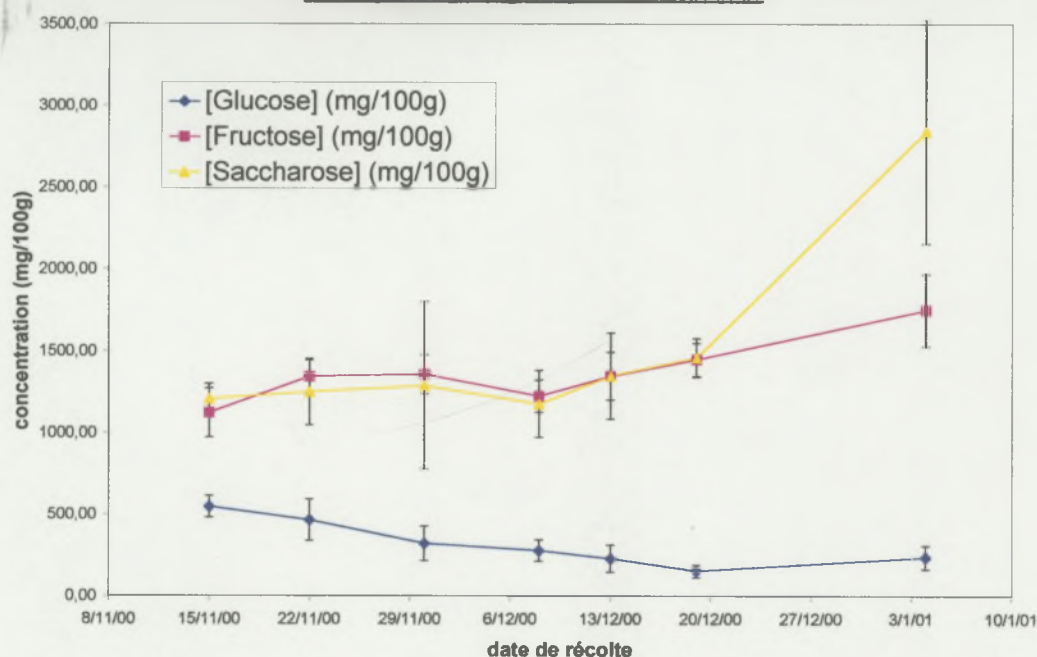
La concentration de glucose diminue, alors que les taux de fructose et de saccharose augmentent. La teneur en saccharose croît progressivement jusqu'au septième stade de maturité, puis brutalement en fin de croissance (Cf. figure 24).

La concentration en saccharose augmente avec le ratio feuilles par fruit. Dans les traitements 25 F/f et 50 F/f, elle est inférieure à la concentration en fructose jusqu'au septième stade de maturité. Dans le traitement 100 F/f, le saccharose est prédominant pendant tout le développement (Cf. figures 25 à 27). Les taux de glucose et de fructose sont indépendants du traitement (Cf. statistiques en annexe 1).

Le fructose et le saccharose sont les sucres principaux de la mangue. Ils sont deux à dix fois plus présents en quantité que le glucose selon le stade de maturité.



**Figure 24: évolution des concentrations en sucres majeurs dans la pulpe de mangue - 50 feuilles/fruit**



**Figure 25: concentration en glucose dans la pulpe de mangue en fonction du stade de maturité**

date de prélèvement	Concentration en mg/100g		
	25 feuilles par fruit	50 feuilles par fruit	100 feuilles par fruit
15/11/00	555,27 ( $\pm 109,7$ )	546,09 ( $\pm 66,46$ )	453,60 ( $\pm 137,04$ )
22/11/00	525,00 ( $\pm 67,7$ )	464,55 ( $\pm 127,22$ )	482,43 ( $\pm 119,17$ )
30/11/00	293,67 ( $\pm 81,46$ )	320,36 ( $\pm 105,44$ )	274,57 ( $\pm 129,36$ )
8/12/00	274,50 ( $\pm 38,51$ )	276,89 ( $\pm 64,74$ )	214,15 ( $\pm 57,37$ )
13/12/00	204,17 ( $\pm 32,39$ )	228,40 ( $\pm 82,29$ )	219,99 ( $\pm 59,21$ )
19/12/00	187,10 ( $\pm 33,24$ )	151,99 ( $\pm 38,43$ )	217,13 ( $\pm 63,32$ )
4/1/01	150,88 ( $\pm 40,55$ )	236,51 ( $\pm 72,11$ )	215,71 ( $\pm 142,66$ )

**Figure 26: concentration en fructose dans la pulpe de mangue en fonction du stade de maturité**

date de prélèvement	Concentration en mg/100g		
	25 feuilles par fruit	50 feuilles par fruit	100 feuilles par fruit
15/11/00	1128,15 ( $\pm 120,11$ )	1122,09 ( $\pm 149,60$ )	1141,28 ( $\pm 96,59$ )
22/11/00	1307,73 ( $\pm 100,06$ )	1343,82 ( $\pm 100,06$ )	1244,79 ( $\pm 187,57$ )
30/11/00	1219,14 ( $\pm 191,14$ )	1357,10 ( $\pm 119,88$ )	1378,85 ( $\pm 229,54$ )
8/12/00	1349,32 ( $\pm 82,25$ )	1223,66 ( $\pm 99,02$ )	1272,72 ( $\pm 140,25$ )
13/12/00	1424,29 ( $\pm 132,66$ )	1346,97 ( $\pm 145,41$ )	1285,06 ( $\pm 179,19$ )
19/12/00	1467,67 ( $\pm 244,82$ )	1447,57 ( $\pm 101,42$ )	1436,19 ( $\pm 286,30$ )
4/1/01	1711,04 ( $\pm 197,61$ )	1749,91 ( $\pm 221,44$ )	1629,19 ( $\pm 261,83$ )

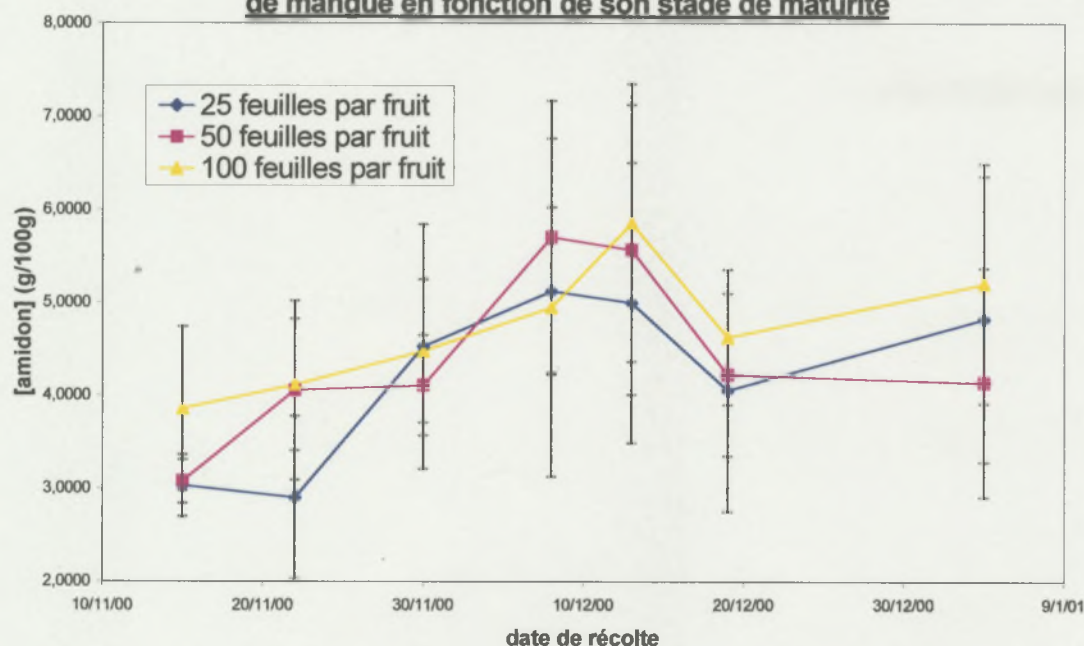
**Figure 27: concentration en saccharose dans la pulpe de mangue en fonction du stade de maturité**

date de prélèvement	Concentration en mg/100g		
	25 feuilles par fruit	50 feuilles par fruit	100 feuilles par fruit
15/11/00	1033,85 ( $\pm 63,42$ )	1206,60 ( $\pm 125,80$ )	1339,37 ( $\pm 92,86$ )
22/11/00	1122,45 ( $\pm 133,97$ )	1249,44 ( $\pm 156,97$ )	1421,66 ( $\pm 202,99$ )
30/11/00	928,54 ( $\pm 74,89$ )	1287,88 ( $\pm 230,73$ )	1629,66 ( $\pm 512,00$ )
8/12/00	976,97 ( $\pm 411,28$ )	1176,54 ( $\pm 117,33$ )	1708,52 ( $\pm 205,08$ )
13/12/00	987,86 ( $\pm 111,10$ )	1347,61 ( $\pm 199,35$ )	1607,63 ( $\pm 263,77$ )
19/12/00	1285,37 ( $\pm 268,77$ )	1458,55 ( $\pm 306,33$ )	1571,50 ( $\pm 118,91$ )
4/1/01	1932,63 ( $\pm 614,91$ )	2842,74 ( $\pm 571,19$ )	2861,10 ( $\pm 687,21$ )

### III. 3. Amidon

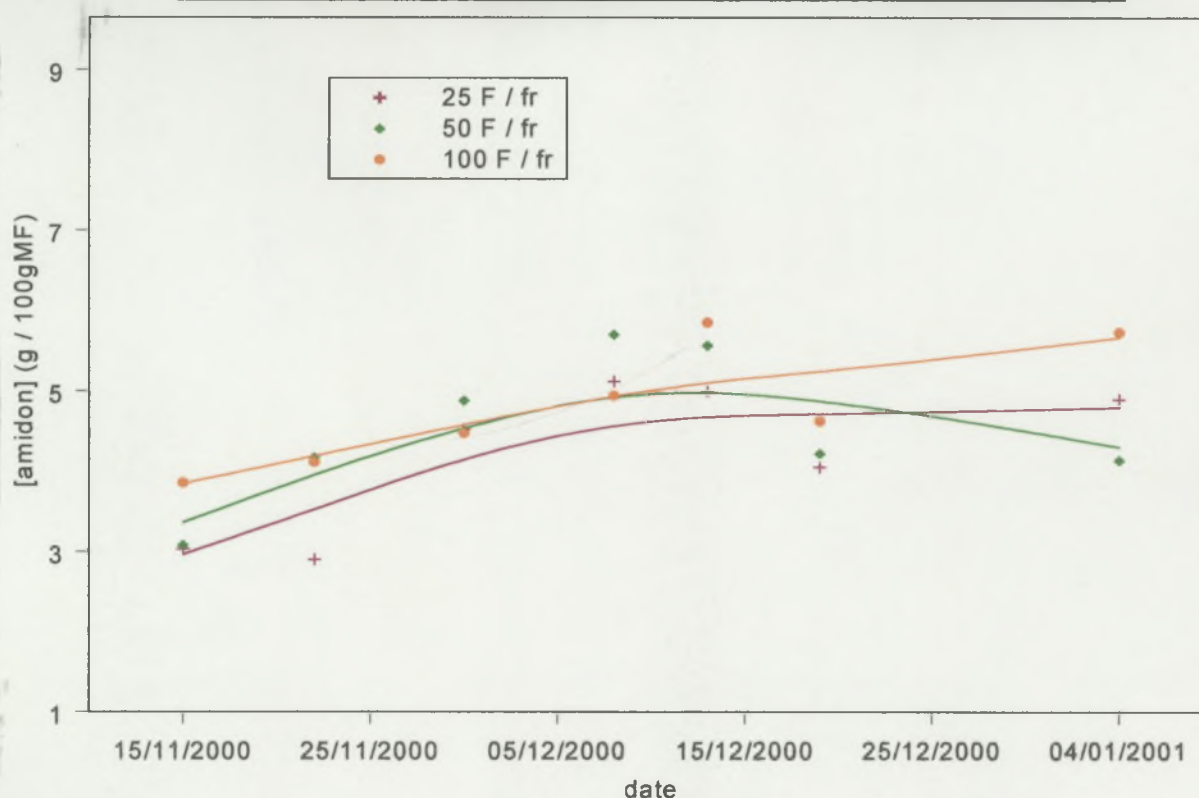
Les résultats des dosages d'amidon sont présentés dans la [figure 28](#). Les points expérimentaux étant assez dispersés, une analyse statistique a été faite pour certifier les tendances des courbes expérimentales (Cf. [figure 29](#)). L'imprécision des résultats peut être expliquée par l'erreur expérimentale accrue par le nombre d'étapes de la procédure, et par la méthode de dosage utilisée.

**Figure 28 : évolution de la concentration en amidon dans la pulpe de mangue en fonction de son stade de maturité**





**Figure 29 : évolution de la concentration en amidon dans la pulpe de mangue en fonction de son stade de maturité : données statistiques**



La concentration d'amidon augmente globalement pour les trois traitements, elle croît régulièrement jusqu'au quatrième stade de maturité. Entre le quatrième et le cinquième stade, les courbes s'infléchissent. La vitesse d'accumulation ralentit pour les traitements 100 F/f et 25 F/f, la teneur en amidon diminue pour le traitement 50 F/f.

L'analyse de variance ne permet pas de faire de conclusions sur l'effet du traitement sur la concentration en amidon. Le test de Tukey effectué sur les données indique une différence significative entre le traitement 25 F/f et le traitement 100 F/f.

### III. 4. Discussion

Les glucides s'accumulent dans la mangue pendant son développement et sa maturation. L'amidon est la principale forme de réserve avec des concentrations finales dans la pulpe comprises entre 4 et 5 g/100g. Le saccharose (entre 1.9 et 2.8 g/100g) et le fructose (1.7 g/100g) sont la deuxième source de glucides. Le glucose est présent en faible concentration, qui diminue au cours du développement des fruits.

Les recherches menées par Takuji Ito *et al.* (1997) sur le Cv. Irwin confirment les dynamiques des teneurs en glucide mises en évidence lors de cette expérimentation.

Comme le saccharose est la forme de transport des glucides synthétisés par les feuilles (une partie étant ensuite stockée dans le fruit sous forme d'amidon), il semble assez logique que le taux de saccharose augmente avec le rapport nombre de feuilles/fruit. Ce comportement laisse supposer que le saccharose est une substance de réserve supplémentaire pour la mangue.

Pour expliquer la hausse brutale du taux de saccharose à partir du sixième stade de maturité, la thèse de la dégradation de l'amidon est évoquée : l'amidon est scindé en unités glucose, utilisées pour la formation de saccharose. Néanmoins les résultats obtenus pour le dosage de l'amidon ne permettent pas de conclure sur cette hypothèse. La comparaison des résultats obtenus pour le deuxième traitement montre que la hausse du taux de saccharose correspond avec la chute du taux d'amidon (voir annexe 2), mais cette conclusion n'est pas applicable aux autres traitements. Des mesures plus précises de la concentration d'amidon doivent être menées dans l'objectif de corroborer cette hypothèse.

La similitude entre les courbes d'extrait sec soluble et de saccharose permet de valider l'utilisation de l'ESS comme indicateur grossier de la teneur en saccharose dans la pulpe de mangue.

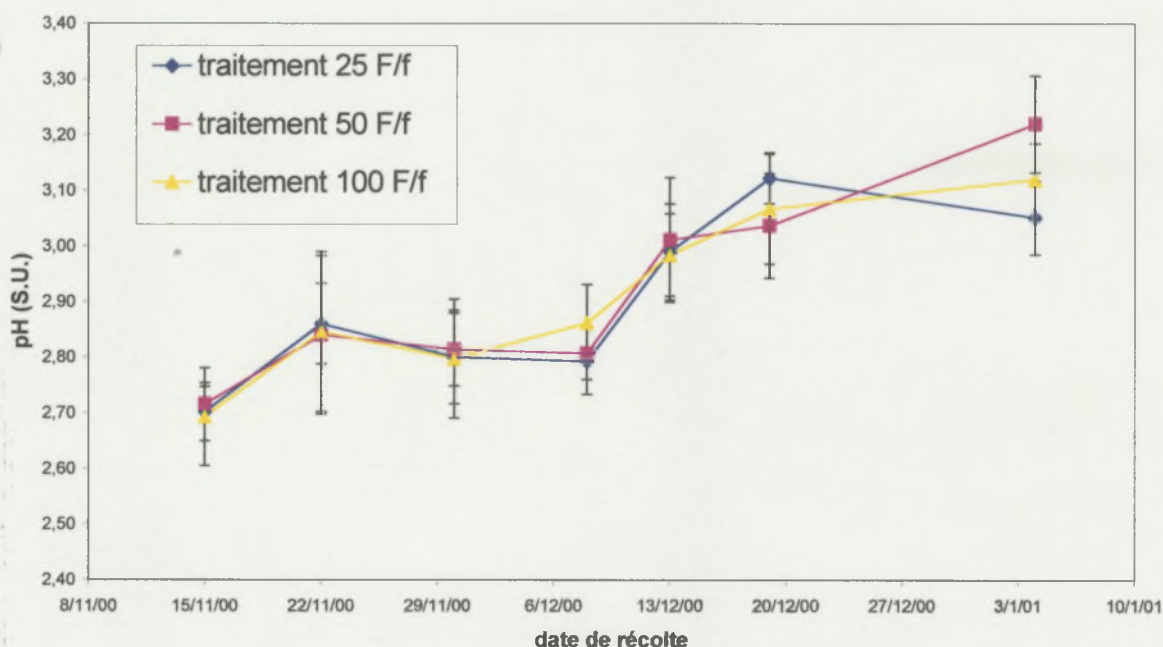
#### **IV. pH, acidité titrable, teneur en acides organiques**

##### **IV. 1. pH**

Le pH des fruits augmente en fonction de leur stade de maturité (Cf. figure 30). Après une hausse rapide, le pH stagne entre la deuxième et la quatrième date de récolte, puis augmente de nouveau. Le pH croît de 2,7 à environ 3,1.

Les traitements n'ont pas de répercussion sur le pH, les trois courbes sont confondues.

**Figure 30: évolution du pH du jus de mangue en fonction de son stade de maturité**

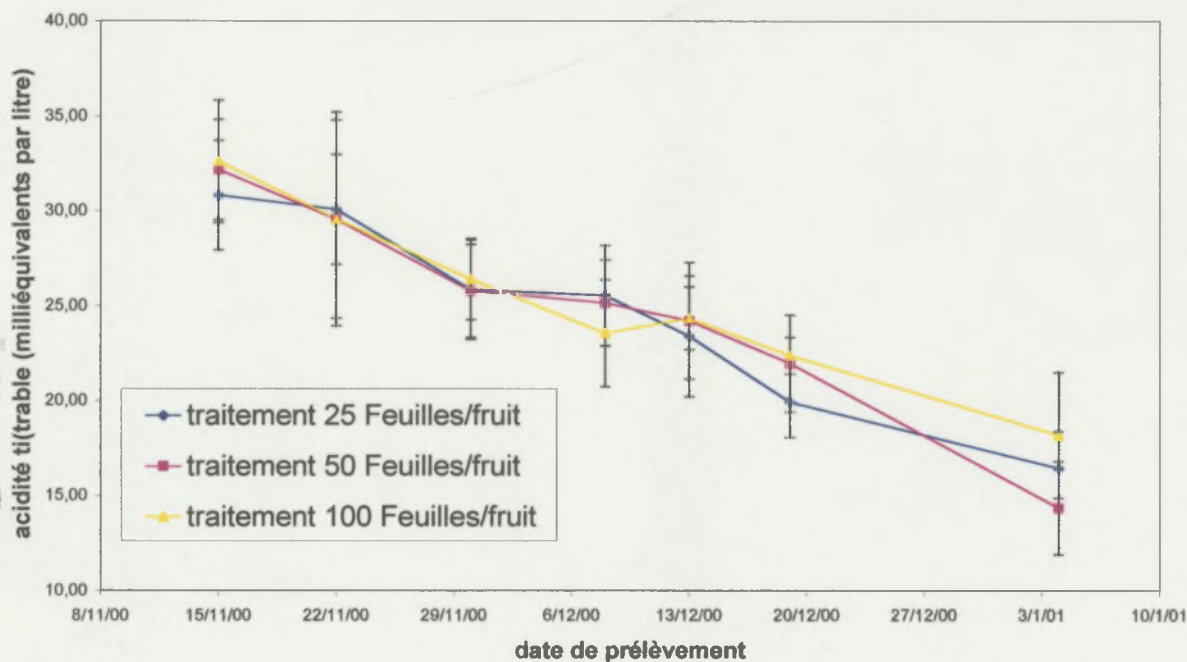




## IV. 2. Acidité titrable

L'acidité des fruits diminue régulièrement durant leur croissance (Cf. figure 31). Elle évolue d'une valeur d'environ 30 milliéquivalents pour 100 grammes de pulpe à un minimum de 15. Aucun impact des traitements sur l'acidité de la pulpe n'est observé. Ces résultats confirment ceux obtenus pour le pH des fruits.

**Figure 31 : évolution de l'acidité titrable dans la pulpe de mangue**



## IV. 3. Acides organiques

### IV.3.a. Conclusions sur la méthode

La séparation des acides organiques dans la mangue par électrophorèse capillaire est rendue difficile d'une part par la présence dominante d'acide citrique, d'autre part par les mobilités proches de nombreux acides.

De ces caractéristiques découlent deux phénomènes :

- Le pic d'acide citrique masque les pics des acides présents en faibles quantités ;
- De nombreux pics sont confondus ou épaulés : ainsi le pic d'acide malique est épaulé à l'acide citrique, les pics d'acide tartrique et fumarique sont confondus et épaulés au pic d'acide citrique.

Après plusieurs essais, faisant varier les types d'électrolytes, leur composition et les paramètres de la machine (longueur du capillaire, potentiel de travail), suivant les méthodes proposées dans le cookbook Waters, les séparations obtenues restent approximatives.

L'analyse des acides tartrique et fumarique est abandonnée car les deux pics sont fusionnés. Les acides ascorbique et pyruvique sont quantifiables, mais la manipulation manque de stabilité : les chromatogrammes obtenus sont très différents (temps de migration variables, ligne de base instable). L'identification des acides pyruvique et ascorbique est donc incertaine, ils ne sont pas dosés.

De ce fait seuls les acides majeurs (citrique et malique) sont dosés en utilisant la méthode développée par Waters pour les acides organiques. La précision obtenue en dosant des solutions étalons est de 5 à 10%. L'imprécision de la méthode invite à prendre les valeurs obtenues comme des indicateurs de la teneur en acides.

Le manque de temps et de matériel a rendu impossible l'optimisation de la méthode, mais l'électrophorèse capillaire présente des avantages certains qui en font une technique prometteuse : rapidité de mesure, facilité de mise en œuvre, volume d'échantillon restreint, peu de préparation des échantillons. Un travail de développement de la méthodologie serait nécessaire pour mettre en place et valider l'utilisation de la CIA pour l'analyse des acides organiques. L'utilisation d'un électrolyte plus stable, et la complexation du citrate permettrait d'identifier et de quantifier de nombreux acides organiques présents en petites quantités dans la mangue.

#### IV.3.b. résultats

Les résultats des dosages d'acides indiquent une diminution globale de leur concentration dans la pulpe des fruits (Cf. figures 32 et 33).

Le taux d'acide citrique diminue passant pour les trois traitements d'une teneur de l'ordre de 1.6 g/100g à 1 g/100g.

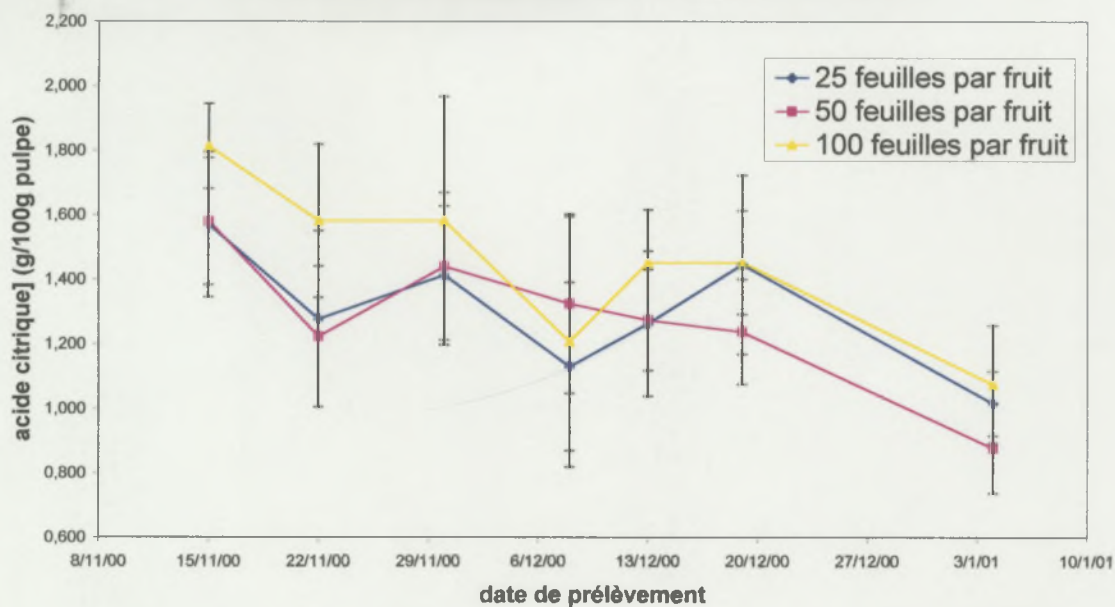
La concentration d'acide malique diminue aussi, mais les profils des traitements sont très différents : pour le traitement 25 F/f, le taux d'acide malique diminue fortement jusqu'au troisième stade de maturité, augmente jusqu'au sixième, puis se stabilise. Le traitement 50 F/f suit la même dynamique, mais l'augmentation se poursuit jusqu'au dernier stade de maturité. Un pic de croissance apparaît entre le deuxième et le quatrième stade de maturité pour le traitement 100 F/f, puis la concentration en acide malique se stabilise.

Les analyses de variance effectuées sur les données expérimentales confirment les tendances des courbes, et indiquent que le traitement a un effet significatif sur les concentrations des acides citrique et malique dans la pulpe de mangue. Le test de Tukey permet de spécifier cet effet :

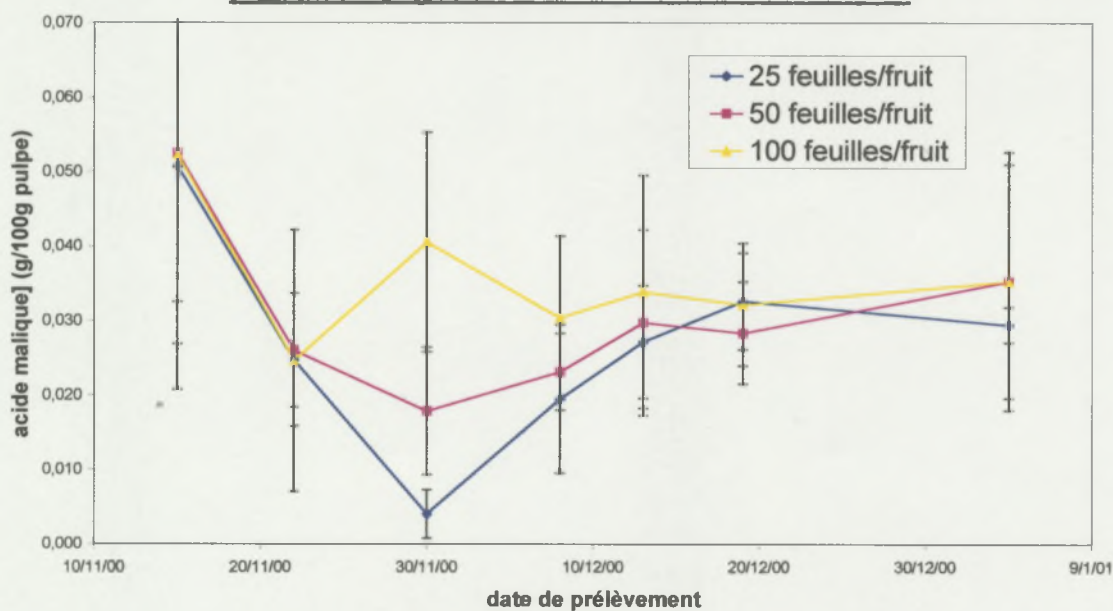
- Pour l'acide citrique, seul le traitement 100 feuilles par fruit a un effet sur la concentration, les courbes des traitements 25 F/f et 50F/f ne sont pas significativement différentes.
- Pour l'acide malique, les traitements 25 F/f et 100 F/f sont distincts. Le traitement 50 F/f ne se dissocie pas des deux autres.



**Figure 32 : évolution de la concentration en acide citrique dans la pulpe de mangue en fonction du stade de maturité**

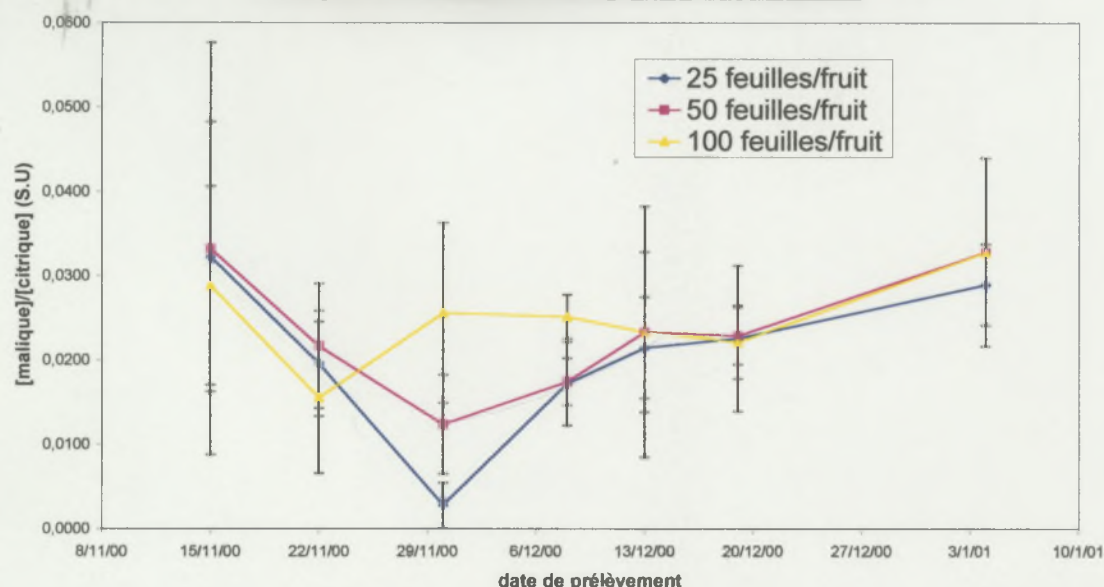


**Figure 33 : évolution de la concentration en acide malique dans la pulpe de mangue en fonction du stade de maturité**



Le ratio malique sur citrique tend à diminuer au début du développement de la mangue, puis augmente à partir du troisième stade de maturité (figure 34). Les courbes ont néanmoins des allures différentes selon le traitement.

**Figure 34 : évolution du rapport malique/citrique dans la pulpe de mangue en fonction de son stade de maturité**



#### **IV. 4. Discussion**

Les valeurs de pH, acidité titrable et acides organiques sont logiques. La teneur en acides de la pulpe de mangue diminue en fonction de son stade de maturité.

L'acide citrique est majoritaire, il est présent en quantité 25 à 50 fois supérieure à l'acide malique.

Les conditions agronomiques ont un effet sur les quantités d'acides dans la mangue : les fruits issus du traitement 100 feuilles par fruit contiennent plus d'acide citrique et d'acide malique que les autres. Cet effet n'est pas discernable sur les courbes de pH et d'acidité titrable. L'évolution du ratio malique/citrique suit la même dynamique que pour la pêche (Souty *et al.*, 1999).

Pour valider l'utilisation de la CIA pour le dosage des acides organiques, les résultats obtenus pour le dosage de l'acide citrique sont comparés avec les valeurs d'acidité, exprimées en grammes d'acide citrique pour 100 grammes de pulpe (voir annexe 3). La comparaison montre que les courbes ont un profil globalement similaire. Néanmoins les valeurs obtenues par titrimétrie sont plus élevées, les courbes sont plus linéaires, les résultats ne permettent pas de discerner l'effet du traitement. Ces divergences montrent que la méthode développée sur CIA peut être optimisée.



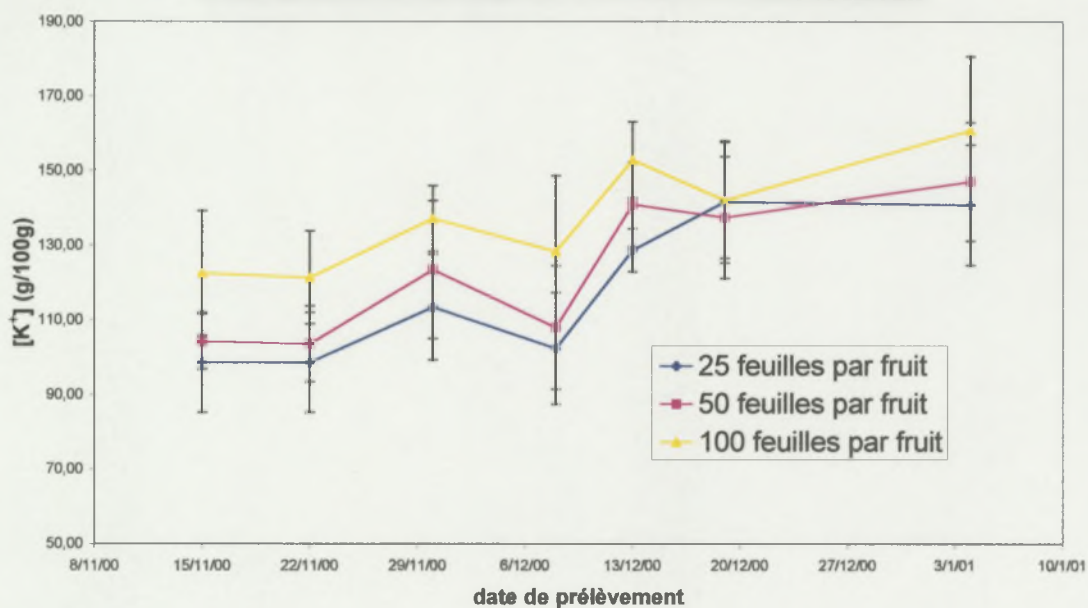
## V. Teneurs en minéraux

### V. 1. Potassium

Le taux de potassium dans la pulpe augmente pendant le développement du fruit (Cf. figure 35). L'artefact observé au quatrième stade de maturité peut être relié à l'augmentation du taux d'humidité dans les mêmes fruits (effet de dilution).

L'effet du traitement est net (Cf. test de Tukey en annexe 1) avec une différence établie pour le traitement 100 F/f.

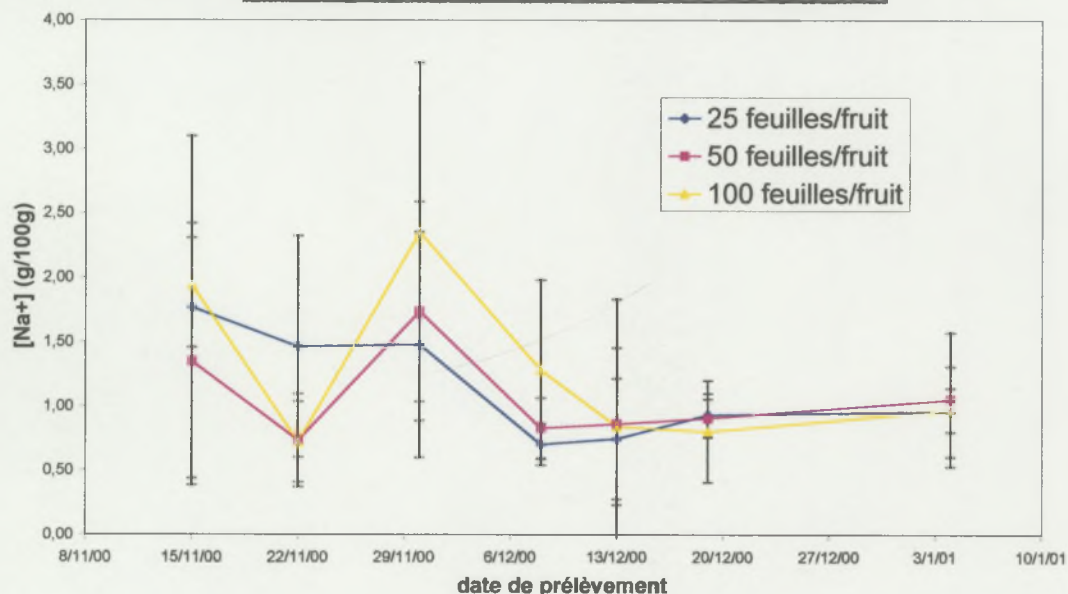
**Figure 35 : évolution de la concentration en potassium dans la pulpe de mangue en fonction de son stade de maturité**



### V. 2. Sodium

Les très faibles concentrations en sodium rendent l'intégration et la quantification des pics obtenus difficiles. La teneur en sodium diminue globalement pendant la croissance de la mangue (Cf. figure 36). Le taux de sodium se stabilise après le quatrième stade de maturité. Il n'y a pas de différences significatives entre les traitements.

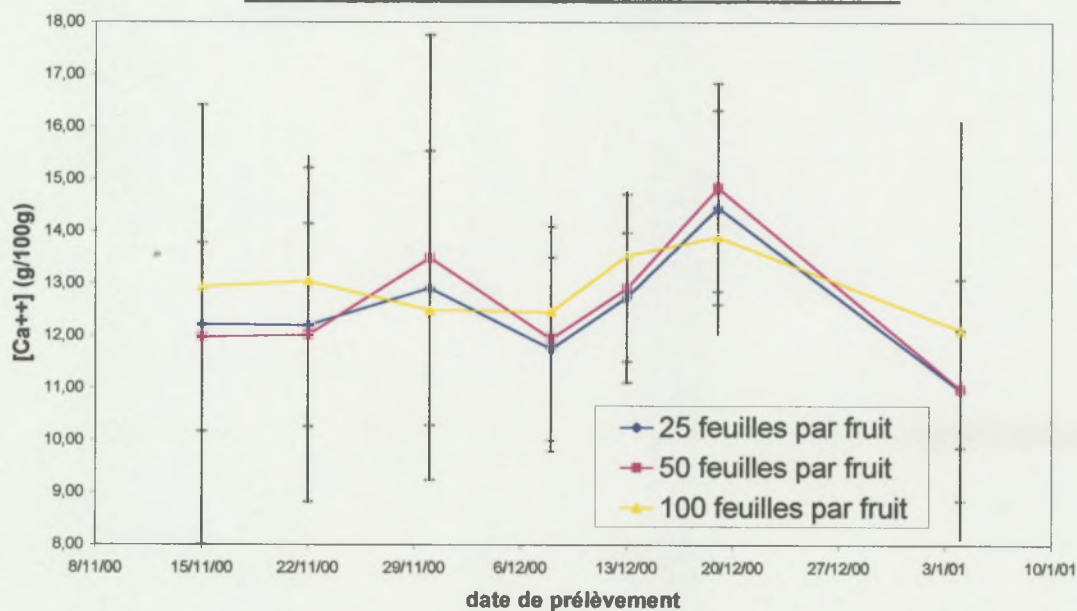
**Figure 36 : évolution de la concentration en sodium dans la pulpe de mangue en fonction de son stade de maturité**



### V. 3. Calcium

La teneur en calcium augmente jusqu'au sixième stade de maturité, puis diminue rapidement (Cf. figure 37). L'analyse de variance montre que dans nos conditions expérimentales, le taux de calcium ne dépend pas du traitement effectué sur les rameaux.

**Figure 37 : évolution de la concentration en calcium dans la pulpe de mangue en fonction de son stade de maturité**

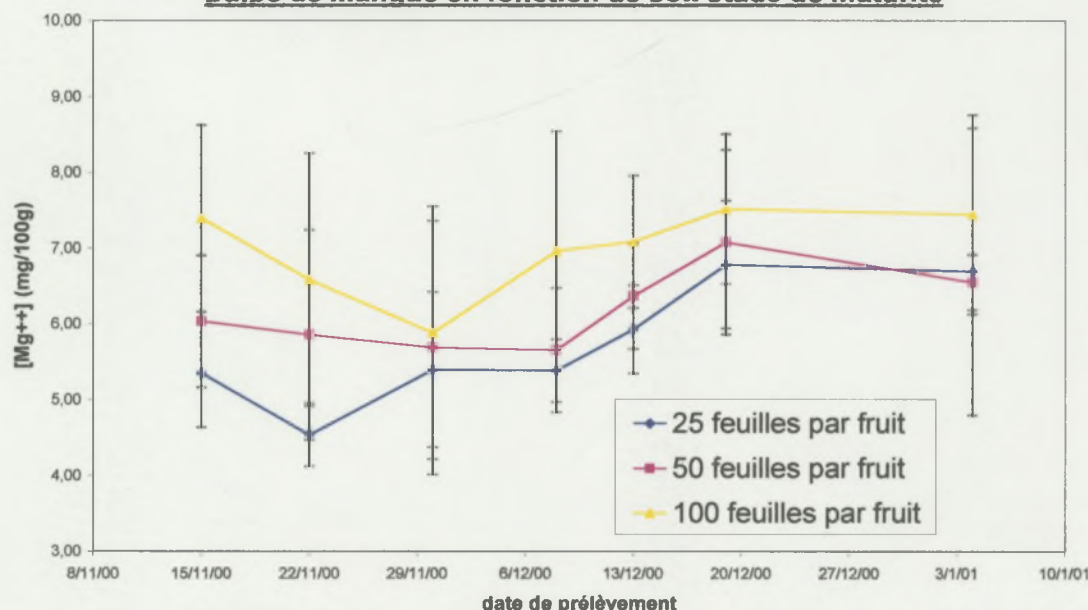




#### V. 4. Magnésium

La concentration en magnésium dans la mangue diminue pendant les premiers stades de maturité, puis augmente et se stabilise (Cf. figure 38). Le traitement a un effet significatif sur le taux de magnésium pour le traitement 100F/f.

**Figure 38: Evolution de la concentration en magnésium dans la pulpe de mangue en fonction de son stade de maturité**



#### V. 5. Discussion

Le principal composé minéral de la mangue est le potassium, présent en concentrations 10 à 100 fois supérieures aux autres cations, suivi par le calcium et le magnésium. Le sodium n'apparaît qu'en très faible quantité.

Alors que les teneurs en potassium et en magnésium tendent à augmenter pendant la croissance des fruits, le taux de calcium reste stable et la concentration en sodium diminue.

Les minéraux sont transportés du sol vers l'arbre par la sève élaborée via le xylème. La circulation de cette sève n'est pas bloquée par la décortication annulaire, les différences des teneurs en minéraux observées pour les traitements ne peuvent pas venir de l'alimentation des rameaux.

Le ratio nombre de feuilles par fruit n'a d'influence que sur les teneurs de potassium et de magnésium, celles-ci sont plus élevées pour les ratios feuilles par fruit importants. Ces minéraux, plus mobiles, peuvent être transportés dans la sève élaborée.

Des études sur le soja ont montré que le potassium est d'abord transporté jusqu'aux feuilles par le sève brute via le xylème, puis jusqu'aux fruits par la sève élaborée dans le phloème (Nooden, 1988, cité par Simmons *et al.*, 1998). Les différences de teneurs observées en fonction des traitements peuvent venir d'une plus forte remobilisation du potassium et du magnésium des feuilles vers les fruits.

## **VI. Relations possibles entre la composition et le comportement post récolte du fruit**

### **VI. 1. Stade de récolte**

Les résultats de cette étude décrivent le comportement de la mangue au cours de son processus de croissance ; ils permettent de relier le stade de récolte des fruits à leur composition biochimique.

La floraison a eu lieu au début du mois d'août. Les fruits ont atteint un stade de maturité avancé lors des dernières récoltes (fruits murs sur pied). Les variations de composition enregistrées dans le temps, confrontées aux mesures de conservation à venir, permettront d'apprécier la relation entre composition et stade de récolte.

### **VI. 2. Effet des traitements agronomiques**

Les conditions d'alimentation carbonée influent sur la croissance morphologique et l'accumulation des composés biochimiques dans la mangue.

Le volume et le poids des fruits augmentent avec la quantité d'assimilats disponible (nombre de feuilles par fruit plus élevé). La teneur des fruits en matière sèche, saccharose, acides organiques et minéraux dépend des traitements : les fruits issus des traitements à fort ratio feuilles/fruits ont un taux de matière sèche et de saccharose plus élevé. Leur réserve naturelle en sucres devrait leur conférer un meilleur potentiel de conservation ; cette hypothèse sera vérifiée dès la prochaine saison de production.

Les taux de potassium et de magnésium sont supérieurs dans les fruits qui ont un nombre de feuilles élevé. Les traitements n'ont pas d'effet sur la teneur en calcium. Le calcium en renforçant les structures membranaires peut ralentir le ramollissement des fruits (Abott et al 1989, Battey 1990) et participe donc à la préservation de la qualité. Dans nos conditions expérimentales, l'effet du traitement n'intervient pas. Les variations de résistance mécaniques proviendront donc surtout de la morphologie des mangues.

L'impact des traitements sur la qualité aromatique sera abordé dans la prochaine phase de récolte. L'objectif est de s'assurer qu'il n'y a pas d'effet majeur de la taille des puits (nombre de feuilles/ fruits) sur les précurseurs aromatiques.

### **VI. 3. Synthèse d'éthylène**

Au-delà des variations de composition biochimique enregistrées entre les traitements, il faut évoquer la synthèse d'éthylène. Nous avons vu précédemment que la mangue est un fruit climactérique, qui va réagir à la présence d'éthylène. Différentes études montrent qu'en cas de stress, les plantes synthétisent de l'éthylène (Jackson et al 1978, Wang et Arteca 1992). Il sera intéressant de savoir si la limitation des apports carbonés peut induire un stress ponctuel, qui, en favorisant l'accumulation de l'ACC, (acide 1-aminocyclopropane carboxylique), précurseur de l'éthylène, va diminuer la durée de la phase préclimactérique.



L'effet du ratio nombre de feuilles par fruit sur la synthèse d'éthylène, et ses conséquences sur le potentiel de conservation des mangues sont à quantifier et des mesures in situ d'éthylène sont prévues.

## Conclusion et perspectives de l'étude

Différentes méthodes analytiques ont été utilisées pour observer la composition et les dynamiques de l'évolution biochimique de la mangue durant sa croissance, et mettre en évidence l'impact de la disponibilité en assimilats carbonés sur la composition et la croissance du fruit.

La méthodologie mise en place pour le dosage des acides organiques (électrophorèse capillaire) donne des résultats mitigés. Bien que la technique soit rapide et facile d'utilisation, elle reste instable et donne des résultats peu précis. Par manque de temps, la méthode utilisée n'a pas été optimisée, d'autres possibilités n'ont pas été étudiées, il serait intéressant de poursuivre et de valider la mise en place de cette méthodologie.

La croissance du fruit est caractérisée par un gain en volume et en poids, ainsi qu'une diminution du taux d'humidité. Au cours des différents stades de maturité étudiés, le fruit se remplit en glucides, qui sont principalement l'amidon, le saccharose et le fructose. L'acidité, apportée majoritairement par l'acide citrique, diminue au cours de la maturation. La composition minérale du fruit varie peu en ce qui concerne les cations peu mobiles (calcium et sodium), alors que les teneurs en potassium et magnésium augmentent.

Les fruits bénéficiant d'une disponibilité en assimilats carbonés supérieure sont plus volumineux. Leur teneur en eau est inférieure ; ils accumulent plus de saccharose et acides citrique et malique. Leurs concentrations en potassium et magnésium sont plus hautes.

Les analyses seront reconduites sur la prochaine saison de récolte en vue de confirmer les résultats obtenus.

Par ailleurs, les expérimentations sur l'alimentation carbonée des mangues vont être poursuivies au champ en intégrant de nouveaux paramètres. L'impact du stress hydrique sera abordé en suivant le développement des mangues dans des conditions d'alimentation en eau réduite. La croissance des fruits sera observée sur un temps plus long, prenant en compte les stades plus précoces de leur développement.

L'incidence du stade de récolte et des caractéristiques biochimiques initiales du fruit sur sa conservation post-récolte va être étudiée. La mise en place de nouveaux matériels permettra de mesurer la synthèse d'éthylène, l'activité respiratoire et la qualité aromatique du fruit. Parallèlement aux analyses morphologiques et biochimiques des fruits, des essais de conservation utilisant différentes techniques (température, enrobage, atmosphère modifiée) seront mis en place.

Les différentes combinaisons possibles entre traitement agronomique, stade de récolte et technique de conservation permettront ainsi d'appréhender quels sont les principaux facteurs définissant la qualité commerciale de la mangue.



## Références bibliographiques

**Abbott, J.A., and Conway, S.W.** Postharvest calcium chlorid infiltration affects textural attribute of apples. *J. Amer. Hort. Sci.*, 1989, No.114, Vol.6, pp. 932-936.

**Battey, N. H.** Calcium deficiency disorders of fruit and vegetables. *Postharvest News and Informations*. 1990, No.1, Vol.1, pp.23-27.

**Dalmeyda, V., et David, C.** cours CACEMI, Chromatographie en phase liquide, version 2. CNAM laboratoire MPCA, 1999. 53p.

**Gopalan, C., Ramasastri, B. V., and Balasubramanian, S. C.** Nutritive value of indian food. Hyderabad : Nat.Instr. Nutr., Indian coun. Med. Res., 1971.

**Heller, R.** Physiologie végétale tome 1 : nutrition. 4<sup>e</sup> éd. Paris : Masson, 1993, 294p.

**Jackson, M. B., Gales, K., and Joan Campbell,D.** Effect of waterlogged soil conditions on the production of ethylene and on water relationships on tomatoe. *Journal of Experimental Botany*, 1978, Vol.29, No.108, pp.183-193.

**Lakshminarayana, S.,** Mango. *in* **Nagy, S., and Shaw, P. E.** Tropical and subtropical fruits. the AVI publishing company inc., 1980, pp. 184-257.

**Lakshminarayana, S., Subbiah Shetty, M., and Subramanyam, H.** Some aspects of developmental physiology of mango fruit. *Journal of Horticultural Science*. 1970, No.45, pp.133-142.

**Laskaridou-Monnerville, A.** *Etude des minéraux, vitamines et autres substances biologiques dans les fruits et légumes réunionnais par électrophorèse capillaire*. Thèse de doctorat : biochimie et biologie moléculaire : Saint Denis, université de la Réunion : 1997.

**Lechaudel, M.** croissance et qualité organoleptique du fruit chez le manguier : analyse expérimentale et modélisation de la disponibilité carbonée et hydrique. *non publié*, projet de thèse CIRAD-INRA, 2001.

**Litz, R. E.** The mango : botany, production and uses. New york : CAB International, 1997.

**Salunkhe, D. K., Bolin, H. R., Reddy, N. R.** Storage, processing and nutritional quality of fruits and vegetables, Volume I : fresh fruits and vegetables. 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raton : CRC Press, 1991, 323p.

**Shashirekha, M. S., and Patwardhan, M. V.** Changes in aminoacids, sugars and nonvolatile organic acids in a ripening mango fruit (*Mangifera Indica* : Badami variety). *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. 1976, No.9, pp.369-370.

**Simmons, S. L., Hofman, P. J., Whiley, A.W., and Hetherington, S.** Effect of leaf :fruit ratios on fruit growth, mineral concentration and quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Kensington Pride). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 1998, No. 73, Vol.3, pp. 367-374.

**Singh, B. N., Seshagiri, P. V. V., and Gupta, S. S.** Ontogenetic drifts in the physiology and chemistry of tropical fruits under orchard conditions. *Indian Journal of Agronomy and Science*. 1937, No.7, p.176.

**Souty, M., Génard, M., Reich, M., et Albagnac, G.** Influence de la fourniture en assimilats sur la maturation et la qualité de la pêche (*Prunus persica* L. 'Suncrest'). *Canadian Journal of Plant Science*. 1999, No.79, pp.259-268.

**Takuji Ito, Katsuaki Sasaki, and Yasuji Yoshida.** Changes in respiration rate, saccharide and organic acid content during ripening of mango fruit (*Mangifera Indica* L. 'Irwin') cultured in a plastic house. *J. Japan.Soc.Hort. Sci.*, 1997, No 66, Vol.3-4, pp.629-635.

**Trionthi, C.** description et clé d'identification de quelques fruits tropicaux comestibles. *Fruits*. 1992, No.2, Vol.47, pp.331-348.

**Wang, T.W., and Arteca, R. N.** Effects of low O<sub>2</sub> root stress on ethylene biosynthesis in tomato plants. *Plant Physiology*, 1992, No.98, pp.97-100.



## ANNEXES

## **Sommaire des annexes**

### **ANNEXE 1**

Analyses de variance

### **ANNEXE 2**

Relation amidon-saccharose

### **ANNEXE 3**

Comparaison de deux techniques pour le dosage d'acide citrique : CIA et titrimétrie



## **ANNEXE 1**

### **Analyses de variance**

## Teneur en matière sèche

Les effets et différences significatives sont signalés par un surlignage bleu.

Facteurs : date et traitement

- Analyse de l'erreur standard

	date	Traitement	date:Traitement	Résidu
somme des carrés des écarts	343.62	187.66	31.43	341.79
degré de liberté	6	2	12	141

Erreur standard résiduelle: 1.556947

*Les effets estimés peuvent être déséquilibrés*

- ANAVAR

	Degré de liberté	Somme des carrés des écarts	Variance	F	Pr(F)
Date	6	343.6262	57.27104	23.62586	0.0000000
traitement	2	187.6612	93.83059	38.70767	0.0000000
Date : traitement	12	31.4313	2.61927	1.08052	0.3809691
résidu	141	341.7956	2.42408		

- Test de comparaison de différences de moyennes : intervalle de confiance à 95 % (méthode de Tukey)

Ce test permet d'établir les différences entre traitements

	Différence estimée	Erreur standard	Limite basse	Limite haute	différence
25 F/f-50 F/f	-1.18	0.306	-1.9	-0.45	****
25 F/f-100 F/f	-2.64	0.309	-3.37	-1.90	****
50 F/f-100 F/f	-1.46	0.306	-2.18	-0.735	****

## Teneur en glucose

- Analyse de l'erreur standard

	date	Traitement	date:Traitement	Résidu
somme des carrés des écarts	23629	144176		1031400
degré de liberté	6	2	12	141

Erreur standard résiduelle: 85.52717

*Les effets estimés peuvent être déséquilibrés*



- ANAVAR

	Degré de liberté	Somme des carrés des écarts	Variance	F	Pr(F)
Date	6	2535232	422538.7	57.76414	0.0000000
traitement	2	23629	11814.7	1.61516	0.02025161
Date :traitement	12	144176	12014.6	1.64249	0.0863702
résidu	141	1031400	7314.9		

- Test de comparaison de différences de moyennes : intervalle de confiance à 95 % (méthode de Tukey)

	Différence estimée	Erreur standard	Limite basse	Limite haute	différence
25 F/f-50 F/f	-0.673	16.8	-40.45	39.2	
25 F/f-100 F/f	20.9	17.0	-19.3	61.0	
50 F/f-100 F/f	21.5	16.8	-18.2	61.3	

## Teneur en fructose

- Analyse de l'erreur standard

	date	Traitement	date:Traitement	Résidu
somme des carrés des écarts	4147473	16968	442293	4158207
degré de liberté	6	2	12	141

Erreur standard résiduelle: 171.73

*Les effets estimés peuvent être déséquilibrés*

- ANAVAR

	Degré de liberté	Somme des carrés des écarts	Variance	F	Pr(F)
Date	6	4147473	691245.6	23.44	0.000
traitement	2	16968	8484.2	0.2877	0.750
Date :traitement	12	442293	36857.7	1.24980	0.255
résidu	141	4158207	29490.8		

- Test de comparaison de différences de moyennes : intervalle de confiance à 95 % (méthode de Tukey)

	Différence estimée	Erreur standard	Limite basse	Limite haute	différence
25 F/f–50 F/f	22.5	33.8	-57.5	103.0	
25 F/f–100 F/f	15.5	34.0	-65.2	96.1	
50 F/f–100 F/f	-7.02	33.7	-86.9	72.8	

## Teneur en saccharose

- Analyse de l'erreur standard

	date	Traitement	date:Traitement	Résidu
somme des carrés des écarts	27162260	11582842	4766382	42277591
degré de liberté	6	2	12	141

Erreur standard résiduelle: 547.5775

*Les effets estimés peuvent être déséquilibrés*

- ANAVAR

	Degré de liberté	Somme des carrés des écarts	Variance	F	Pr(F)
Date	6	27162260	4527043	15.098	0.0000000
traitement	2	11582842	5791421	19.31497	0.0000000
Date : traitement	12	4766382	397198	1.32470	0.2108674
résidu	141	42277591	299841		

- Test de comparaison de différences de moyennes : intervalle de confiance à 95 % (méthode de Tukey)

	Différence estimée	Erreur standard	Limite basse	Limite haute	différence
25 F/f–50 F/f	-369	108	-624	-114	****
25 F/f–100 F/f	-665	109	-922	-408	****
50 F/f–100 F/f	-295	107	-550	-40.9	****

## Teneur en amidon

- Analyse de l'erreur standard

	date	Traitement	date:Traitement	Résidu
somme des carrés des écarts	769812	77699	152704	1550931
degré de liberté	6	2	12	141

Erreur standard résiduelle: 114.1623



*Les effets estimés peuvent être déséquilibrés*

- ANAVAR

	Degré de liberté	Somme des carrés des écarts	Variance	F	Pr(F)
Date	6	769812	128302	9.844366	0.0000000
traitement	2	77699	38849.4	2.98084	0.0545533
Date : traitement	12	152704	12725.3	0.97639	0.4752887
résidu	141	1550931	13033.0		

- Test de comparaison de différences de moyennes : intervalle de confiance à 95 % (méthode de Tukey)

	Différence estimée	Erreur standard	Limite basse	Limite haute	différence
25 F/f-50 F/f	-22	23.9	-78.6	34.7	
25 F/f-100 F/f	-59.3	23.8	-116	-2.7	****
50 F/f-100 F/f	-37.3	23.7	-93.7	19	

## Teneur en acide citrique

- Analyse de l'erreur standard

	date	Traitement	date:Traitement	Résidu
somme des carrés des écarts	5.546076	1.047535	0.652671	5.223384
degré de liberté	6	2	12	141

Erreur standard résiduelle: 0.220945

*Les effets estimés peuvent être déséquilibrés*

- ANAVAR

	Degré de liberté	Somme des carrés des écarts	Variance	F	Pr(F)
Date	6	4.546076	0.7576793	15.52091	0.0000000
traitement	2	1.047535	0.5237676	10.72928	0.0000567
Date :traitement	12	0.652671	0.0543893	1.11415	0.3564512
résidu	141	5.223384	0.0488167		

- Test de comparaison de différences de moyennes : intervalle de confiance à 95 % (méthode de Tukey)

	Différence estimée	Erreur standard	Limite basse	Limite haute	différence
25 F/f-50 F/f	0.0119	0.0506	-0.108	0.1320	
25 F/f-100 F/f	-0.1830	0.0503	-0.302	-0.0629	****
50 F/f-100 F/f	-0.1940	0.0479	-0.308	-0.0806	****

## Teneur en acide malique

- Analyse de l'erreur standard

	date	Traitement	date:Traitement	Résidu
somme des carrés des écarts	0.006547	0.000168	0.002069	0.011769
degré de liberté	6	2	12	141

Erreur standard résiduelle: 0.01048766

*Les effets estimés peuvent être déséquilibrés*

- ANAVAR

	Degré de liberté	Somme des carrés des écarts	Variance	F	Pr(F)
Date	6	0.006547	0.001091	9.920848	0.0000000
traitement	2	0.000168	0.000084	0.764183	0.4682343
Date :traitement	12	0.002069	0.000172	1.567683	0.1120859
résidu	141	0.011769	0.000109		

- Test de comparaison de différences de moyennes : intervalle de confiance à 95 % (méthode de Tukey)

	Différence estimée	Erreur standard	Limite basse	Limite haute	différence
25 F/f-50 F/f	-0.00352	0.00331	-0.0114	0.00435	
25 F/f-100 F/f	-0.00974	0.00330	-0.0176	-0.00190	****
50 F/f-100 F/f	-0.00621	0.00314	-0.0137	0.00124	

## Ratio malique/citrique

- Analyse de l'erreur standard

	date	Traitement	date:Traitement	Résidu
somme des carrés des écarts	0.006547	0.000168	0.002069	0.017769
degré de liberté	6	2	12	107

Erreur standard résiduelle: 0.010488

*Les effets estimés peuvent être déséquilibrés*

- ANAVAR

	Degré de liberté	Somme des carrés des écarts	Variance	F	Pr(F)
Date	6	0.006547	0.001091	9.920848	0.0000000
traitement	2	0.000168	0.000084	0.764193	0.4682343
Date :traitement	12	0.002069	0.0001724	1.56783	0.1120859
résidu	107	0.011769	0.0001099		



- Test de comparaison de différences de moyennes : intervalle de confiance à 95 % (méthode de Tukey)

	Différence estimée	Erreur standard	Limite basse	Limite haute	différence
25 F/f–50 F/f	-0.00381	0.00240	-0.00952	0.00189	
25 F/f–100 F/f	-0.0042	0.00239	-0.00987	0.00148	
50 F/f–100 F/f	-0.000382	0.00227	-0.00579	0.00502	

## Teneur en potassium

- Analyse de l'erreur standard

	date	Traitement	date:Traitement	Résidu
somme des carrés des écarts	35454.2	8217.5	2002.91	32696.46
degré de liberté	6	2	12	118

Erreur standard résiduelle: 16.64598

*Les effets estimés peuvent être déséquilibrés*

- ANAVAR

	Degré de liberté	Somme des carrés des écarts	Variance	F	Pr(F)
Date	6	35454.2	5909.034	21.32543	0.0000000
traitement	2	8217.5	4108.75	14.82828	0.0000018
Date :traitement	12	2002.91	166.909	0.60237	0.8365628
résidu	118	32696.46	277.089		

- Test de comparaison de différences de moyennes : intervalle de confiance à 95 % (méthode de Tukey)

	Différence estimée	Erreur standard	Limite basse	Limite haute	différence
25 F/f–50 F/f	-4.86	3.46	-13.1	3.36	
25 F/f–100 F/f	-18.5	3.52	-26.8	-10.10	****
50 F/f–100 F/f	-13.60	3.48	-21.9	-5.34	****

## Teneur en sodium

- Analyse de l'erreur standard

	date	Traitement	date:Traitement	Résidu
somme des carrés des écarts	19.76775	2.65917	11.92647	94.41356
degré de liberté	6	2	12	118

Erreur standard résiduelle: 0.8944914

*Les effets estimés peuvent être déséquilibrés*

- ANAVAR

	Degré de liberté	Somme des carrés des écarts	Variance	F	Pr(F)
Date	6	19.76775	3.294626	4.117690	0.0008648
traitement	2	2.65917	1.329586	1.661744	0.1942182
Date :traitement	12	11.92647	0.993873	1.242162	0.2628672
résidu	118	32696.46	277.089		

- Test de comparaison de différences de moyennes : intervalle de confiance à 95 % (méthode de Tukey)

	Différence estimée	Erreur standard	Limite basse	Limite haute	différence
25 F/f-50 F/f	-0.021	0.186	-0.463	0.421	
25 F/f-100 F/f	-0.321	0.189	-0.770	0.127	
50 F/f-100 F/f	-0.300	0.187	-0.744	0.144	

## Teneur en calcium

- Analyse de l'erreur standard

	date	Traitement	date:traitement	Résidu
somme des carrés des écarts	128.1658	0.5997	33.7098	712.1559
degré de liberté	6	2	12	118

Erreur standard résiduelle: 2.456668

*Les effets estimés peuvent être déséquilibrés*

- ANAVAR

	Degré de liberté	Somme des carrés des écarts	Variance	F	Pr(F)
Date	6	128.1658	21.36097	3.539386	0.0029423
traitement	2	0.5997	0.29986	0.049685	0.9515486
Date :traitement	12	33.7089	2.80915	0.465460	0.9310983
résidu	118	712.1559	6.03522		



- Test de comparaison de différences de moyennes : intervalle de confiance à 95 % (méthode de Tukey)

	Différence estimée	Erreur standard	Limite basse	Limite haute	différence
25 F/f-50 F/f	-0.1330	0.511	-1.35	1.08	
25 F/f-100 F/f	0.0248	0.519	-1.21	1.26	
50 F/f-100 F/f	0.1580	0.514	-1.06	1.38	

## Teneur en magnésium

- Analyse de l'erreur standard

	date	Traitement	date:Traitement	Résidu
somme des carrés des écarts	26.6797	33.6369	15.8832	153.3425
degré de liberté	6	2	12	118

Erreur standard résiduelle: 1.139962

*Les effets estimés peuvent être déséquilibrés*

- ANAVAR

	Degré de liberté	Somme des carrés des écarts	Variance	F	Pr(F)
Date	6	26.6797	4.44661	3.42175	0.0037729
traitement	2	33.6369	16.81846	12.94213	0.0000083
Date :traitement	12	15.8832	1.32360	1.01854	0.4365625
résidu	118	153.3425	1.29951		

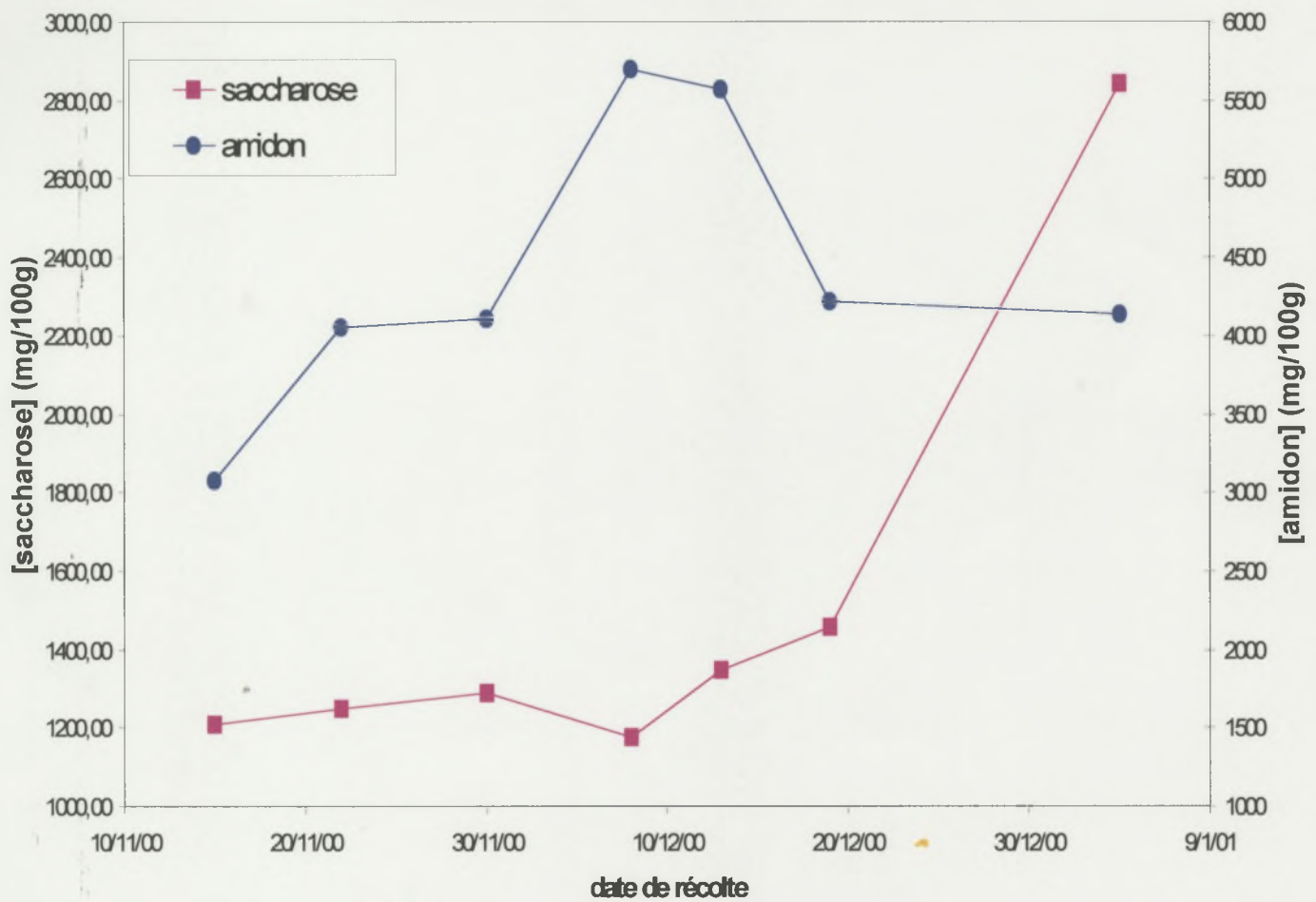
- Test de comparaison de différences de moyennes : intervalle de confiance à 95 % (méthode de Tukey)

	Différence estimée	Erreur standard	Limite basse	Limite haute	différence
25 F/f-50 F/f	-0.372	0.237	-0.935	0.191	
25 F/f-100 F/f	-1.180	0.241	-1.750	-0.607	****
50 F/f-100 F/f	-0.806	0.238	-1.370	-0.240	****

## ANNEXE 2

### Relation amidon-saccharose

Evolution des concentrations en amidon et saccharose dans la pulpe de  
manque en fonction du stade de maturité





## ANNEXE 3

### Comparaison de deux techniques pour le dosage d'acide citrique : CIA et titrimétrie

#### évolution de la concentration en acide citrique dans la pulpe de manque

